

**НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ
імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»**

Факультет електроніки
(повна назва інституту/факультету)

Кафедра мікроелектроніки
(повна назва кафедри)

«До захисту допущено»

В.о.завідувача кафедри
Анатолій ОРЛОВ
(підпис) (ініціали, прізвище)

“ ” 2020р.

Дипломна робота
на здобуття ступеня бакалавра
за спеціальністю 153 Мікро-та наносистемна техніка
(код і назва)

на тему: «Системи аналізу зображення в методах візуального контролю якості ІС»

Виконав (-ла): студент (-ка) 4 курсу, групи ДП-62
(шифр групи)

Бердник Кирило Юрійович _____
(прізвище, ім'я, по батькові) (підпис)

Керівник доцент Верцанова Олена Вікторівна _____
(посада, науковий ступінь, вчене звання, прізвище та ініціали) (підпис)

Консультант з нормоконтролю доц., к.ф.-м.н., с.н.с.
Георгій СВЄЧНИКОВ _____

Консультант з інформаційних питань доц., к.т.н., Юрій ДІДЕНКО _____

Рецензент _____
(посада, науковий ступінь, вчене звання, прізвище та ініціали) (підпис)

Засвідчую, що у цій дипломній роботі немає
запозичень з праць інших авторів без
відповідних посилань.

Студент _____

(підпис)

Київ – 2020 року

Завдання на дипломну роботу

Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

Інститут/факультет Факультет електроніки
(повна назва)

Кафедра Кафедра мікроелектроніки
(повна назва)

Рівень вищої освіти – перший (бакалаврський)

Спеціальність (спеціалізація) Мікро- та наносистемна техніка 153
(код і назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ

В.о.завідувача кафедри

Анатолій ОРЛОВ
(підпис) (ініціали, прізвище)

«__» _____ 2020 р.

ЗАВДАННЯ

на дипломний проект (роботу) студенту

Бердник Кирило Юрійович
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема проекту (роботи): «Системи аналізу зображення в методах візуального контролю якості ІС»

керівник проекту (роботи): доцент Верцанова Олена Вікторівна,
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом по університету від «__» _____ 20__ р. № _____

2. Строк подання студентом проекту (роботи) 04 червня 2020 року

3. Вихідні дані до проекту (роботи)

Зображення дефектів інтегральних схем, типові схеми оптичного обладнання, ілюстрації до методів формування зображень

4. Зміст (дипломної роботи) пояснювальної записки (перелік завдань, які потрібно розробити)

Опис даних про інтегральну схему, що можна отримати шляхом візуального контролю, опис методів захоплення та обробки зображень, висвітлення методів світлової мікроскопії, алгоритмів візуального контролю та практичне застосування принципу ресстрації зображення _____

5. Перелік графічного (ілюстративного) матеріалу (із зазначенням обов'язкових креслеників, плакатів, презентацій тощо) _____

Дата видачі завдання _____

Календарний план

№ з/п	Назва етапів виконання дипломного проекту (роботи)	Строк виконання етапів проекту (роботи)	Підпис керівника

Студент

(підпис)

(ініціали, прізвище)

Керівник проекту (роботи)

(підпис)

(ініціали, прізвище)

АНОТАЦІЯ.....	5
ВСТУП.....	6
ДАНІ ПРО ІНТЕГРАЛЬНУ СХЕМУ, ЩО МОЖНА ОТРИМАТИ ШЛЯХОМ ВІЗУАЛЬНОГО КОНТРОЛЮ.....	7
МЕТОДИ ЗАХОПЛЕННЯ ТА ОБРОБКИ ЗОБРАЖЕННЯ У МІКРОСКОПІІ	21
АЛГОРИТМИ АНАЛІЗУ ДАНИХ ОТРИМАНИХ ІЗ ЗОБРАЖЕНЬ.....	41
ПРАКТИЧНЕ ЗАСТОСУВАННЯ МЕТОДУ СВІТЛОПОЛЬНОЇ МІКРОСКОПІІ ДЛЯ АНАЛІЗУ СХЕМИ НА ПРЕДМЕТ ПОДРЯПИН МЕТАЛІЗАЦІЇ З ВИКОРИСТАННЯМ ПРОДУКЦІЇ КОМПАНІЇ OLYMPUS.....	49
ВИСНОВКИ.....	54
СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ.....	55
	ВИКОРИСТАНОЇ

АНОТАЦІЯ

Метою роботи є аналіз галузі інспекції інтегральних схем, порівняння алгоритмів аналізу зображень, розгляд методів захоплення зображення, доцільних для поставленої задачі.

У цій роботі будуть розглянуті методи виявлення дефектів, що застосовуються у візуальному контролі якості інтегральних схем, опис виникнення дефектів, можливі наслідки для роботи схеми, методи захоплення та отримання зображення світлової мікроскопії, їх порівняння, а також опис застосування конкретної техніки та програмного забезпечення для виявлення похибки металізації.

Ключові слова: контроль якості інтегральних схем; алгоритми аналізу зображення; дефекти інтегральних схем; методи обробки зображення.

The work aims to analyze the industry of inspection of integrated circuits, to compare image analysis algorithms suitable for a given task.

In this work, we will consider methods for detecting defects that are used in visual quality control of integrated circuits, a description of the occurrence of defects, possible consequences for the operation of the circuit, methods for capturing and acquiring images of light microscopy, their comparison, as well as a description of the use of specific techniques and software for detecting metallization failures.

Keywords: quality control of integrated circuits; image analysis algorithms; image acquisition methods; image processing methods; light microscopy.

ВСТУП

На шляху від початку технологічного процесу до готового виробу інтегрована мікросхема долає багатоетапний шлях, у ході котрого можуть виникнути дефекти, наявність яких завадить правильному функціонуванню схеми, або функціонуванню схеми узагалі. Зі зростанням ступеня інтегрованості та комплексності дизайну схем питання контролю якості та виявлення їх дефектів є як ніколи актуальним. Організована, своєчасна перевірка підвищує відсоток виходу та надійності вихідного продукту.

Одним із методів дослідження мікросхеми на предмет відхилень від норм є візуальний контроль. Цей метод базується на огляді схем за допомогою мікроскопічної техніки, і охоплює цілий спектр можливих дефектів.

Перевагою візуального контролю є те, що метод є не деструктивним, а отже дозволяє перевірки на будь-якому з етапів виробництва без пошкодження елемента, що інспектується, на відміну від методів що прибігають до механічних впливів та застосування сильного випромінювання.

Отже, для оптимізації усього процесу виявлення дефектів є доцільним оптимізація та використання максимального спектру можливостей візуального контролю, що і буде розглянутий у цій роботі.

ДАНІ ПРО ІНТЕГРАЛЬНУ СХЕМУ, ЩО МОЖНА ОТРИМАТИ ШЛЯХОМ ВІЗУАЛЬНОГО КОНТРОЛЮ

Дефекти металізації

Погана якість металізації – один із найнебезпечніших дефектів у напівпровідниковій технології інтегральних схем. Дефекти металізації виникають за рахунок похибок фотолітографічного процесу, ненавмисного травлення, механічних пошкоджень унаслідок зондування. Це виливається у появу подряпин та пустот у шарі металізації (рис.1.1). За недотримання геометричної конфігурації, зростає небезпека розриву з'єднання та відмови при пропусканні струму високої щільності за рахунок електроміграції (зсуву йонів металу за рахунок імпульсу електронів, що несуть заряд, у напрямку їх руху).

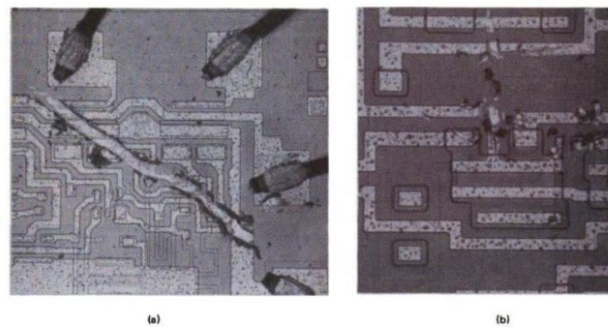


Figure 15. Metallization scratches.

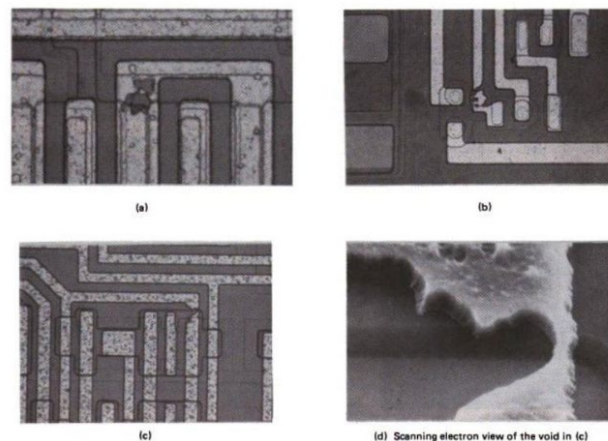


Figure 16. Voids in metallization stripes.

Рисунок 1.1 - Подряпини та пустоти шару металізації, (1)

Основні пункти, на які звертається увага при візуальному контролі металізації - ширина смуги металізації, подряпини над пасивацією, пустоти в металізації над оксидним шаром затвору, наявність невитравленої металізації між сусідніми смугами металізації (при контакті спричинює коротке замикання) (рис.1.2).

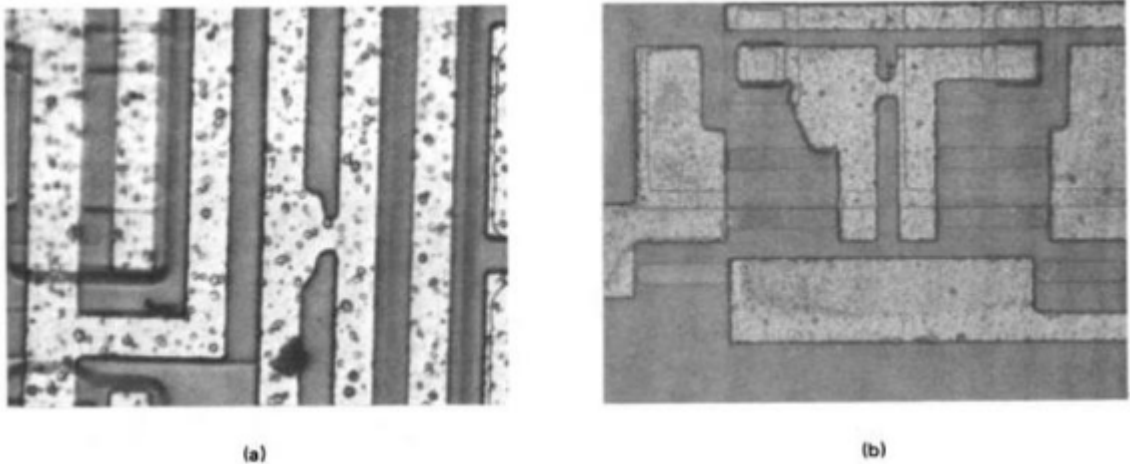
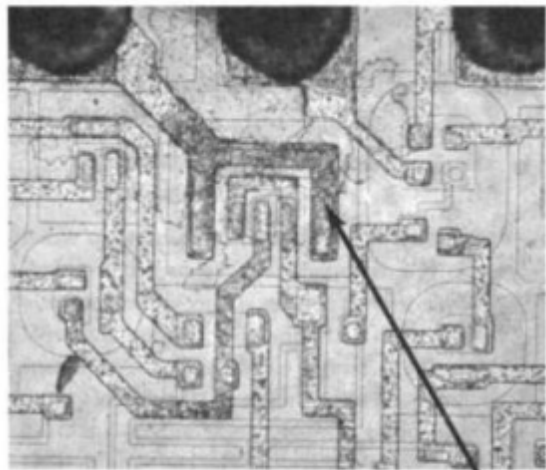


Рисунок 1.2 - Небажане з'єднання смуг металізації, (1)

Ще один дефект, що виявляється методом візуального контролю металізації – корозія (рис.1.3). Зазвичай до корозії металізації призводить неповне усунення трав'яного розчину пластини, що залишає солі на краях смуг металізації, надлишковий фоторезист, що може вбирати солі, а також фосфорна кислота, що може утворитись із фосфосилікатного захисного шару гласивації.

Нерівність накладення шару металізації виникає унаслідок неправильного розташування маски на підкладці. Це може проявитись у неповному перекритті контактних вікон (рис.1.4), що у свою чергу призведе до краху пристрою.

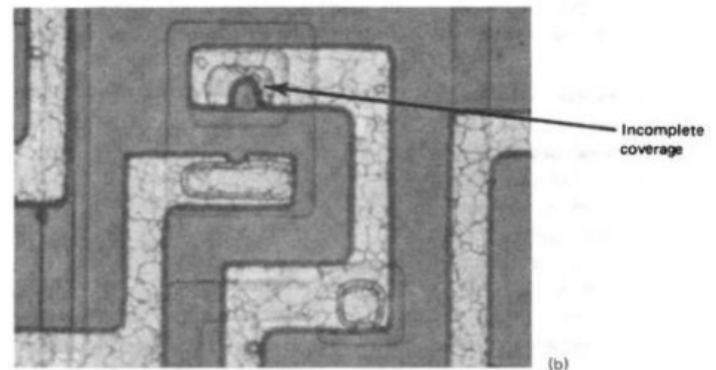


(a)

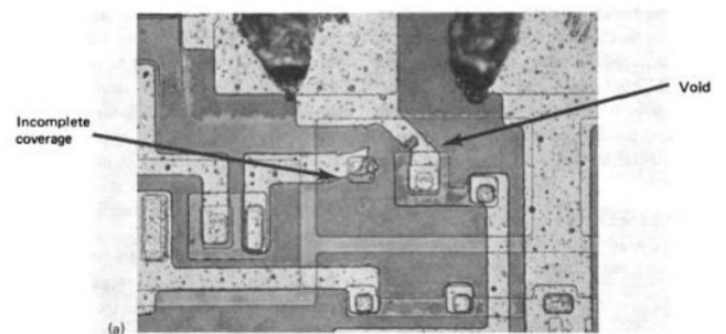
Corroded metallization



(b)



(b)



(a)

Рисунок 1.3 - Заіржавіла металізація, (1)

Рисунок 1.4 - Неповне перекриття контактних вікон, (1)

Для виявлення більш складних дефектів металізації на менших масштабах використовується скануючий електронний мікроскоп. Такі дефекти виникають при нанесенні шару над краями оксиду (оксидними сходами). За виробництва сходинок витравлюються з метою утворення скошеного кута. Якщо сходинок витравлена неправильно, вона може мати занадто крутий кут, що у свою чергу призведе до появи пустот, тріщин та стоншень у шарі металізації (рис.1.5)

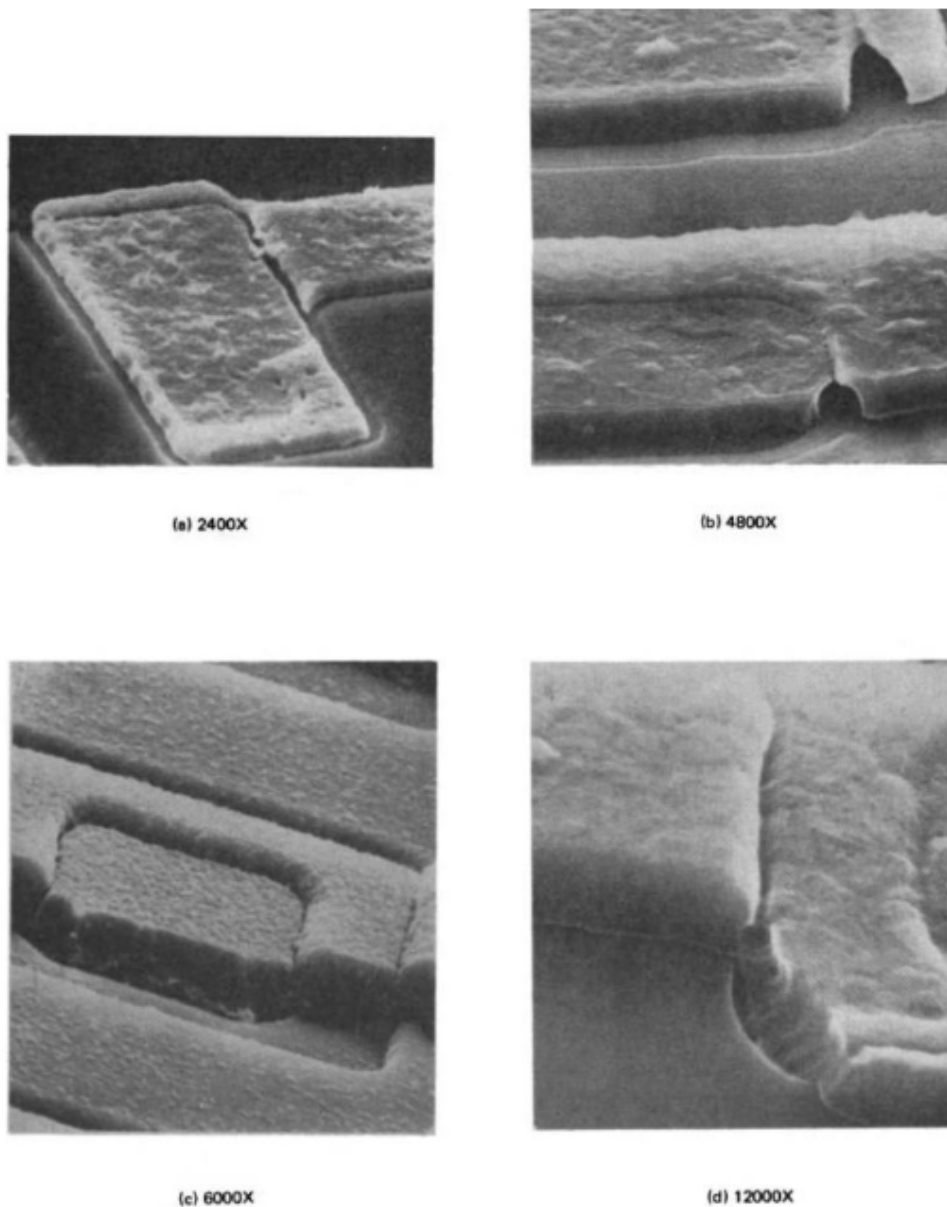


Рисунок 1.5 - Пустоти, тріщини та стоншення у шарі металізації (електронний мікроскоп), (1)

Дефекти, пов'язані з дифузією, пасивацією та діелектричним екрануванням

Стандартно такі дефекти виникають у результаті помилок або неоднорідностей у фотолітографічному процесі.

Найбільшої уваги з точки зору візуального контролю потребують похибки, що призводять до перекривання між дифузованими ділянками. Вони виникають через нерівномірності експозиції, що з'являються внаслідок залишку фоторезисту, і можуть призводити до закорочення між двома дифузованими областями (рис.1.6)

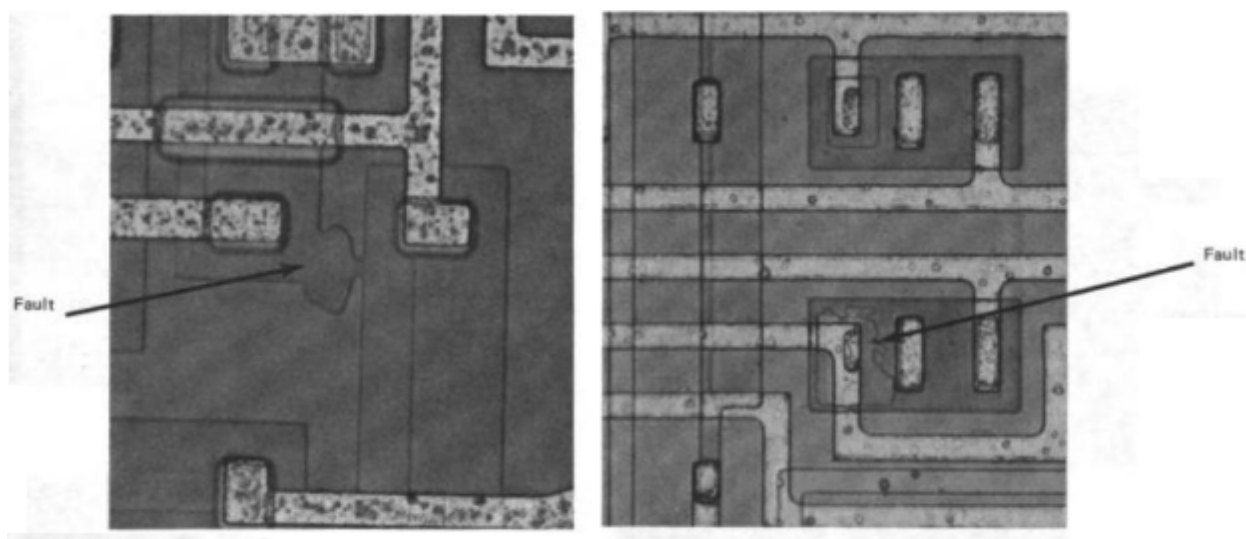


Рисунок 1.6 - Перекривання між дифузованими ділянками, (1)

Також важливе виявлення похибок ізоляційної дифузії. Розриви у шарі ізоляції, спричинені нелагодками обробки, а також стоншення шару, призводять до закорочення сусідніх ділянок (рис.1.7).

Стоншення дифузійного шару також впливають на опір дифузних резисторів, що може проявитись в специфічних умовах, не охоплюваних еклектичним тестуванням схеми.

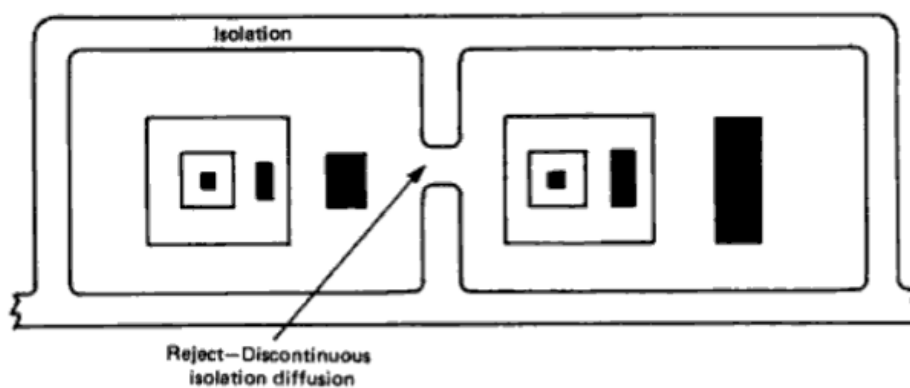


Рис. 1.7 - Закорочення сусідніх ділянок через переривчастість шару ізоляційної дифузії, (1)

Похибки пасивації – дефекти шару діоксиду кремнію, його стоншення або відсутність у потрібних ділянках.

Вони неприпустимі та схема відхиляється у разі виникнення похибки під смугами металізації (рис. 1.8)

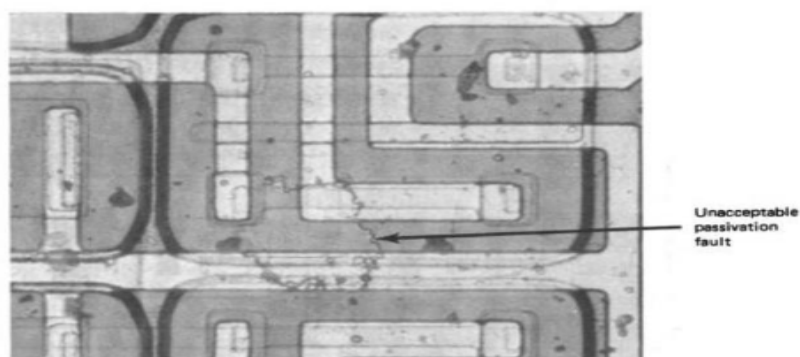
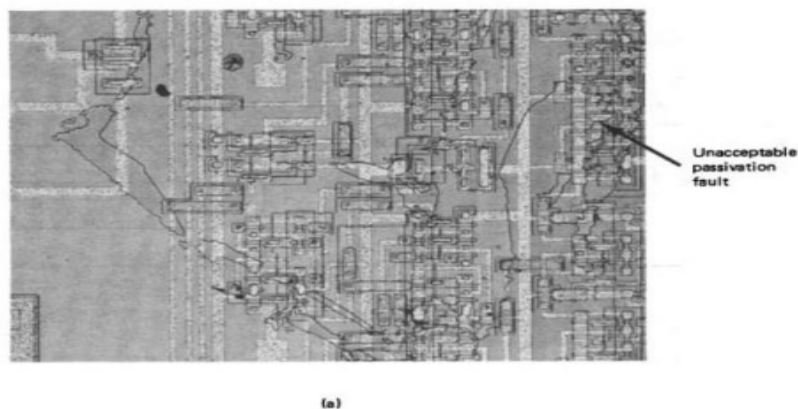


Рисунок 1.8 - Вад пасивації під смугами металізації, (1)

Інтенсивність похибки пасивації може бути оцінена по кількості ліній, видимих по краям сбою. Не зважаючи на те, що сама по собі така похибка може не спричиняти закорочення, оксид може бути достатньо тонким щоб вийти з ладу під впливом протікання струму за час життя пристрою.

Області активного з'єднання, не покриті пасивацією, відхиляються. Не покриті шаром пасивації, вони допускають утворення мобільних зарядів (електрично заряджених частинок, що можуть переміщатися у оксиді затвору МДН-транзистора під дією електричного поля, викликаючи сильну нестабільність характеристик, наприклад, коливання порогової напруги; іони Na^+ - найпоширеніші мобільні заряди у SiO_2) на поверхні, що у свою чергу призводить до струмів витоку і меншої напруги пробою.

Діелектричне екранування використовується для ізоляції окремих активних елементів схеми (рис. 1.9). Кожен елемент при такому методі оточується ізоляційним шаром з боків та знизу. При виникненні проблем унаслідок маскування, ізоляційні ділянки можуть накладатися, що призведе до закорочення між активними областями (рис. 1.10)

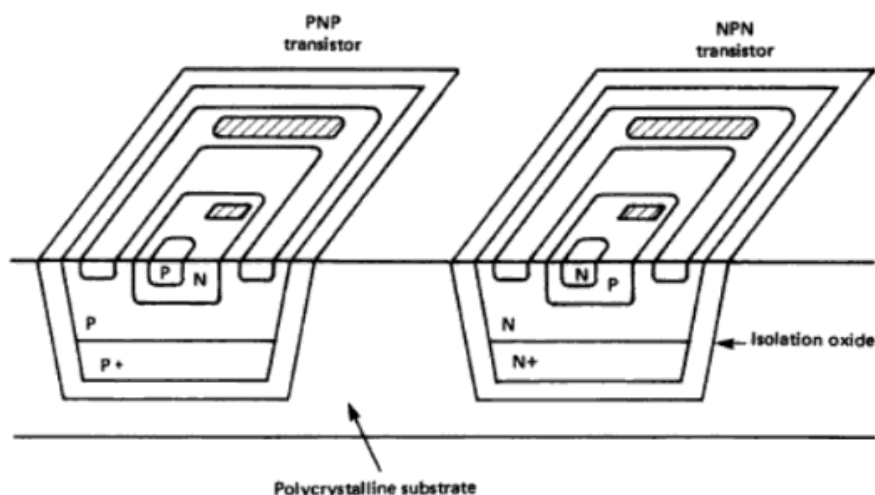


Рисунок 1.9 - Ізоляція окремих активних елементів схеми, (1)

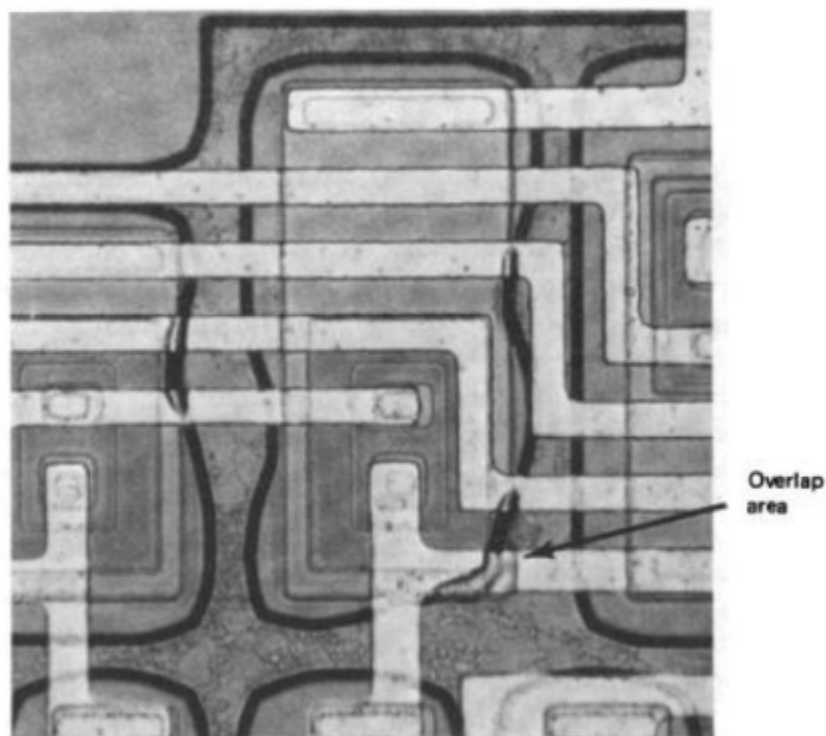


Рисунок 1.10 - Накладання ізоляційних ділянок, (1)

Дефекти захисного шару гласивації

Гласивація - осаждена діелектрична плівка (наприклад, хімічне осадження з парової фази, розпорошене електронним пучком випаруване скло або нітрид, тощо)

Належний стан шару гласивації необхідний для уникнення таких явищ як електроміграція. Дефекти, що виникають у ньому, також унеможливають процес візуального виявлення дефектів, що лежать під ним.

Зачасту це тріщини, що з'являються у процесі розділення напівпровідникової пластини на окремі частини. Якщо поверхня не очищена між операціями, частки кремнію закріплюються на шарі гласивації і ламають його, коли до пластини прикладається тиск.

Неправильне нанесення шару гласивації, відхилення від потрібної геометрії може спричинити закорочення сусідніх смуг металізації при потраплянні провідних часток (рис. 1.11)

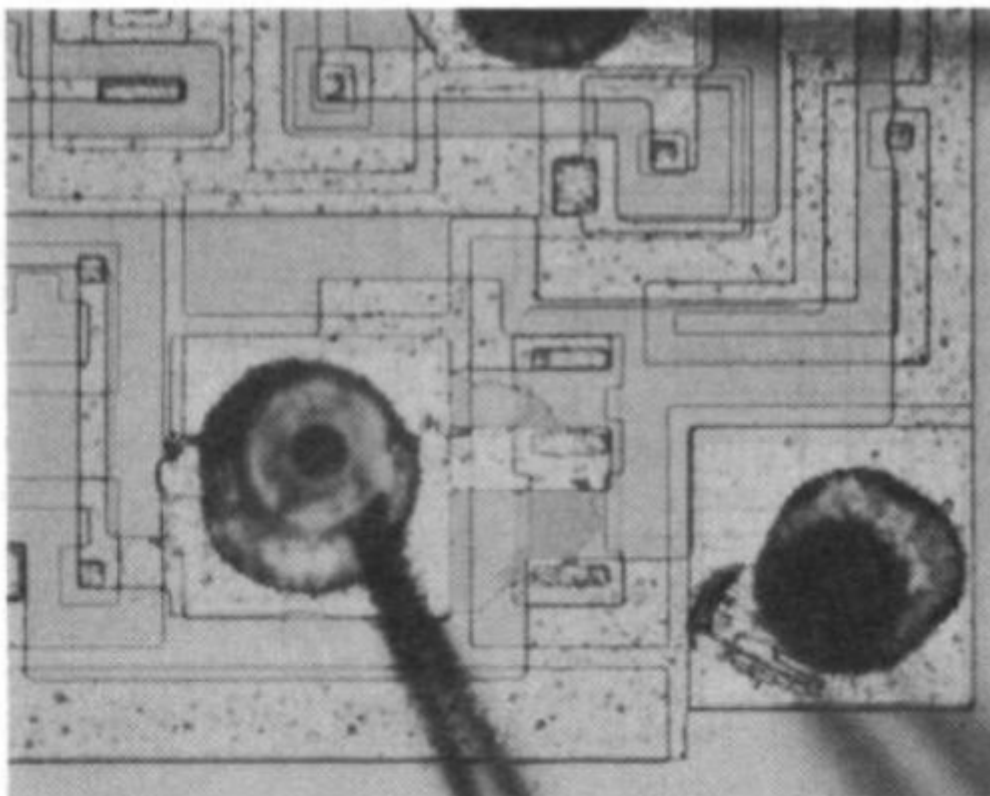


Рисунок 1.11 - Дві активні сусідні смуги металізації не покриті гласивацією, (1)

Дефекти, що виникають у процесі розмітки

Процес розмітки – це нанесення на цільну пластину візерунку, що розділяє окремі незалежні ділянки для подальшого розділення. Він виконується за допомогою стилуса з діамантовим накінецьником або за допомогою лазера.

Тріщини можуть утворитися у ході процесу розмітки, а також за подальшого розділення. Напрямок деяких тріщин при цьому направлений у сторону активних ділянок чіпу, що погрожує подальшим їх розвитком та розривом з'єднань (рис. 1.12).

Іншим пошкодженням при процесі розмітки є сколи. Нечіткість лінії розмітки призводить до того, що кремній руйнується замість того щоб рівно ламатись по лінії (рис. 1.13).

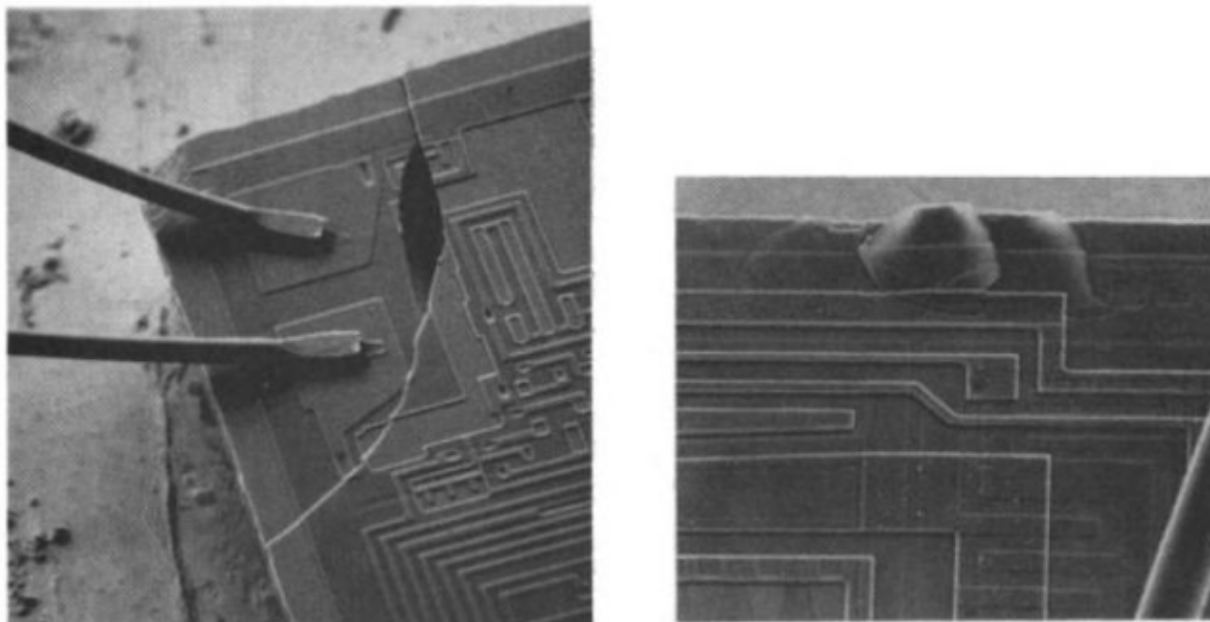


Рисунок 1.12 - Тріщини, що призводять до розриву з'єднань, (1)

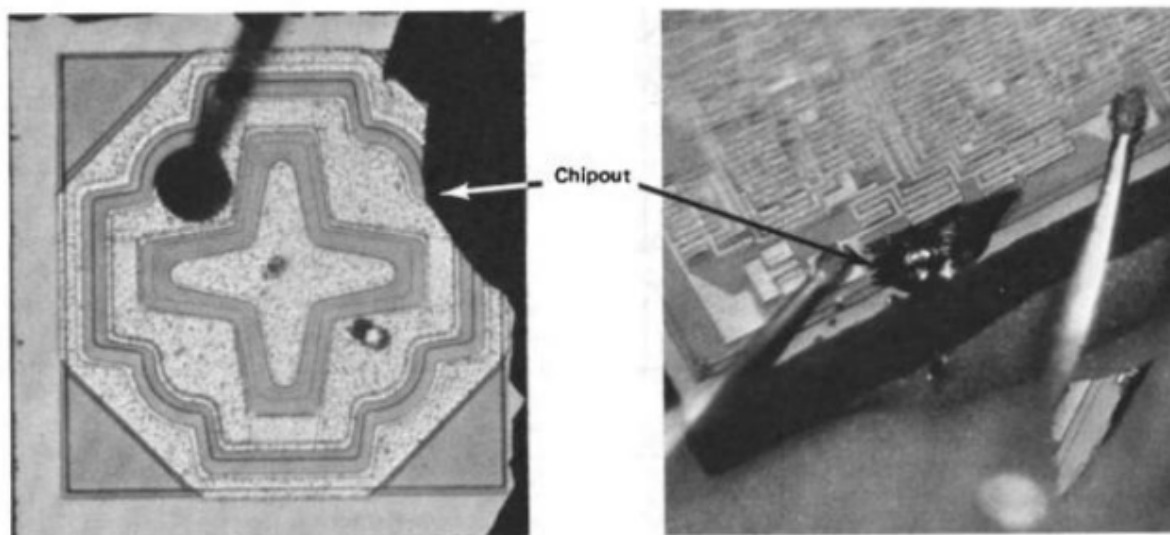


Рисунок 1.13 - Сколи кремнію, що виникли у процесі розділення, (1)

У випадку неправильного розміщення пластини, розмітка може пройти по частині сусіднього вузлу. Таким чином, при розділенні уривки не призначеної схеми опиняться на одній ділянці, що є неприпустимим (рис. 1.14)

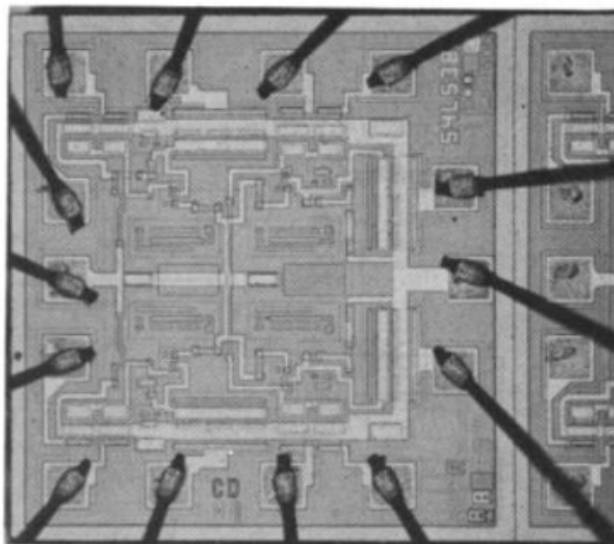


Рисунок 1.14 - Небажана частина схеми, що опинилась поруч з бажаною, (1)

Дефекти плівкових резисторів

Принцип нанесення плівкових резисторів подібний до нанесення шару металізації. Нерівності маски спричинюють надлишок або недостачу резистивного матеріалу, чого необхідно уникнути для правильного накладання шарів у фотолітографічному процесі.

Надлишковий резистивний матеріал, що потрапляє на активні ділянки, є недопустимим.

Плівкові резистори підганяються до бажаного значення опору шляхом лазерної обрізки. Прорізи, що залишаються після даного процесу, не повинні мати резистивного матеріалу. Діаметр променя лазера має бути строго контрольований щоб уникнути варіацій у ширині прорізу, так як залишкові ділянки (рис. 1.15) можуть призвести до закорочення та значення опору, відмінного від бажаного.

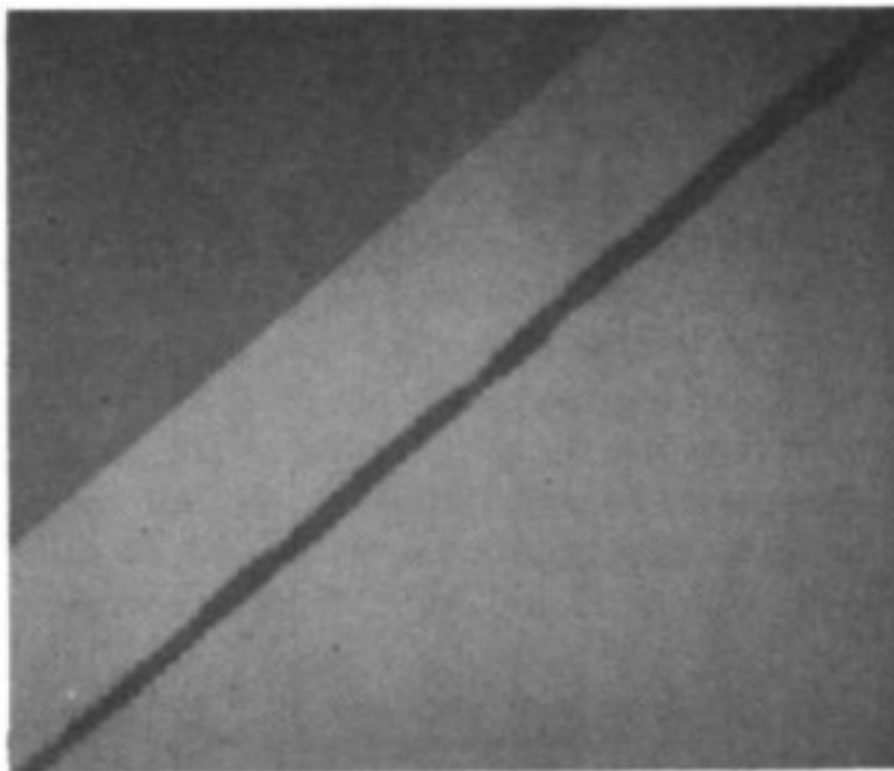


Рисунок 1.15 - Неоднорідність ширини прорізу через варіації діаметру променя, (1)

Дефекти кріплення дротів

Ряд дефектів, таких як надмірний/недостатній діаметр з'єднання, неправильне розміщення з'єднання на контактній ділянці, вихід дроту, що лежить поза периферією з'єднання, може виникнути на стадії приєднання до мікросхеми дротів.

Якщо смуга металізації, що виходить з контактної ділянки, перекривається, таке розташування є недопустимим.

Також недопустимим є поширення з'єднання на небажані ділянки металізації (рис. 1.16)

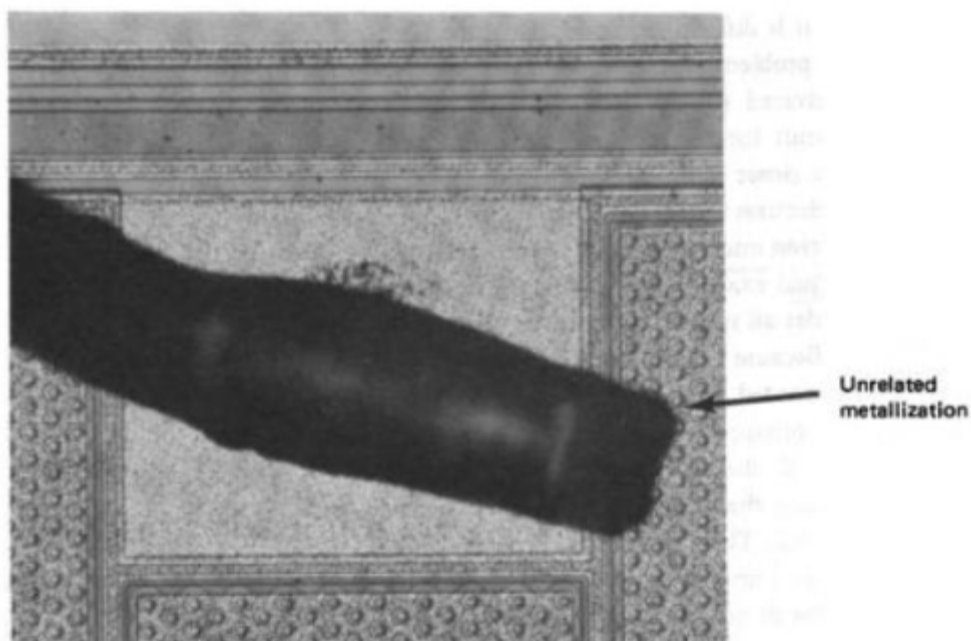


Рисунок 1.16 - Поширення з'єднання на небажану ділянку, (1)

Злам дротів може відбутися унаслідок механічних пошкоджень на стадіях після з'єднання або у самому процесі. Недопустимим при цьому є перез'єднання дроту поверх залишкового сегменту.

Чужорідні частки

Вміст будь-яких чужорідних часток, що осідають на схемах та завчасно не усуваються, стає причиною подальших помилок у маскуванні.

Хімічні забруднення, плями, частки пилу, остача речовини після процесу очищення призводять до подібних похибок.

Висновок

У цьому розділі були розглянуті дефекти мікросхем, що підпадають у сферу застосування візуального контролю якості інтегральних мікросхем. Загалом вони виникають через вади фотолітографічного процесу або механічні пошкодження пластин, і тому можуть спостерігатись з поверхні готового чіпу.

МЕТОДИ ЗАХОПЛЕННЯ ТА ОБРОБКИ ЗОБРАЖЕННЯ У МІКРОСКОПІЇ

Віднині, описавши основні точки інтересу візуального контролю якості інтегральних схем, звернемося до методів, захоплення та формування зображень, за допомогою яких одержується інформація про наявність перелічених дефектів.

Скануючий електронний мікроскоп

Електронний мікроскоп створює зображення із надзвичайно тонкою роздільною здатністю за допомогою сфокусованого пучка електронів, що переміщується уздовж поверхні зразка. На відміну від оптичного мікроскопу, велика глибина різкості дозволяє утримувати особливості поверхні на кардинально різних висотах у фокусі одночасно.

Доцільно використовувати скануючий електронний мікроскоп (СЕМ) для отримання інформації про якість та прийнятність міжз'єднань металізації, наявність отворів у оксиді та ідентифікації наявності корозії.

Структурно СЕМ складається із вакуумної камери, електронної пушки, лінз, що фокусують потік електронів, скануючих котушок, що контролюють переміщення растру по зразку, детектору та виводу зображення (рис.2.1)

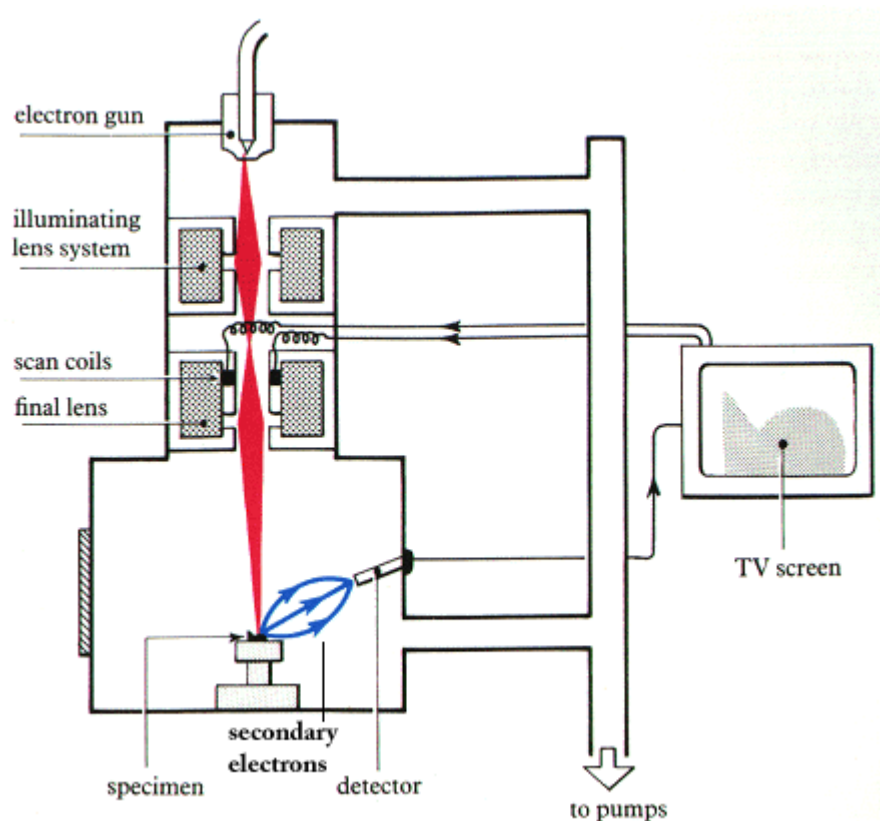


Рисунок 2.1 - Схема СЕМ, (5)

Зображення поверхні формують вторинні електрони. Вторинні електрони - це малоенергетичні електрони (менше 50eV), утворені нееластичним розсіюванням. Генерація вторинних електронів відбувається в результаті зіткнень первинних електронів з зовнішніми електронами атомів зразка.

Низька енергія цих електронів дозволяє легко збирати для подальшої обробки сигналу. Збір відбувається за допомогою розміщення позитивно зарядженої решітки перед детектором вторинних електронів, який розташований з однієї сторони від зразка. Позитивна решітка притягує електрони і вони потрапляють у детектор, де у свою чергу викликають емісію світла. Це описує принцип роботи детектора Еверхарта-Торнлі, який найчастіше використовується у СЕМ.

Посилений електричний сигнал, що виводиться фотопомножувачем, відображається у вигляді двовимірного розподілу інтенсивності, видимого на аналоговому відеодисплеї. Його у свою чергу можна піддавати аналого-цифровому перетворенню та відображати/зберігати у вигляді цифрового зображення. Цей процес спирається на растровий сканований первинний промінь.

Основний вплив на генерацію сигналу вторинних електронів має форма (топографія) поверхні зразка. Вторинні електрони особливо чітко показують деталі країв поверхні. Краї (і часто загострені частини) виглядають яскравіше, ніж решта зображення, оскільки вони виробляють більше електронів.

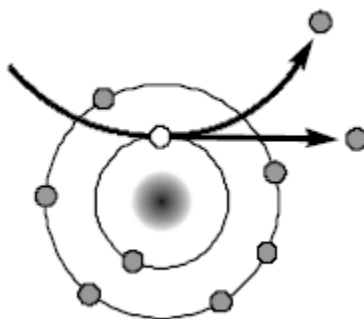


Рисунок 2.2 - Схематичне зображення формування вторинних електронів, (4)

Зображення, що отримується СЕМ - це віртуальна карта інтенсивності (цифрова або аналогова) чисел електронів, вивергнутих зі зразка матеріалу. Сила сигналу в кожній точці є відображенням електронів, що утворюються з топографії або композиції.

Шляхом обробки сигналів кожен квант сигнальної інформації (отриманої з кожної точки знаходження зондуючого потоку електронів) може бути змінений на деяке нове значення, яке несе строго відповідне відношення до вихідного, перш ніж він відображається. Таким чином ми можемо налаштувати сигнал для зміни контрасту та яскравості остаточного зображення (рис. 2.4)

СЕМ не містить об'єктивних, проміжних та проекторних лінз для збільшення зображення. Натомість збільшення є результатом відношення площі, відсканованої на зразку, до площі екрану. Збільшення в СЕМ, таким чином, досягається досить просто - шляхом сканування електронного променя на меншій площі зразка.

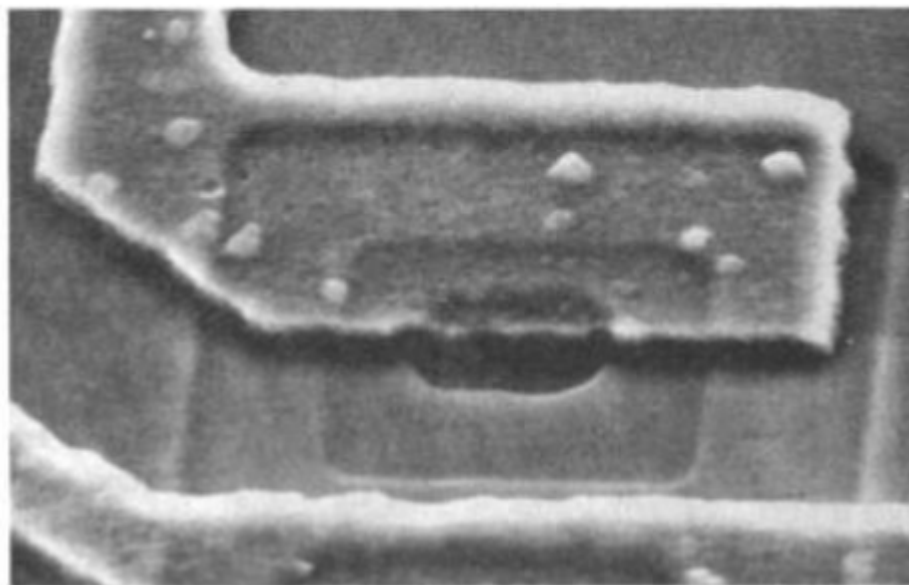


Рисунок 2.3 - Неповне покриття металізацією, зображення, отримане СЕМ, (1)

Оптичний мікроскоп

В оптичному мікроскопі формування зображення відбувається в проміжній площині зображення за рахунок інтерференції між прямим світлом, що проходить крізь зразок незмінним, і світлом, що зазнає дифракції на характерних ділянках, наявних у зразку. Зображення, яке утворюється об'єктивом, об'єднується із зразком, тобто кожна точка зображення геометрично пов'язана з відповідною точкою зразка. Звідси випливає, що кожна точка в зразку представлена відповідною точкою на зображенні.

Доцільно використовувати оптичний мікроскоп для перевірки виконання вимог якості внутрішніх матеріалів схеми, дизайну та конструкції монолітних, гібридних, багаточіпових та багаточіпових модульних мікросхем, а також візуальної інспекції пасивних елементів.

Найважливішим фактором при визначенні того, чи можна отримати корисну інформацію з зображення, є достатня контрастність між деталями, що цікавлять, та фоном. Пристрій збору даних завжди має властивий набір обмежень, який необхідно враховувати як на етапі підбору апаратної складової, так і на етапі обробки зображення.

МЕТОД СВІТЛОПОЛЬНОЇ МІКРОСКОПІЇ

Це найпоширеніша та найелементарніша методика оптичної мікроскопії. Освітлення зразка здійснюється за допомогою вольфрамово-галогенної лампи, сфокусованої через вертикальний освітлювач, розташований над сценкою. Світло, що відбивається розщеплювачем променя через об'єктив, рівномірно освітлює зразок. Світло, що відбивається від поверхні зразка, знову потрапляє в об'єктив і переходить в окуляр або в порт камери. Поглинання та дифракція падаючого світла зразком часто призводить до помітних варіацій у зображенні.

Світлопольна мікроскопія особливо корисна для дослідження плоских зразків. Цей метод, однак, має тенденцію забезпечувати досить погану видимість шорстких поверхонь. Світло, що падає на шорстку поверхню, відображається над широкий діапазон кутів. Як результат, дуже мало його відбивається назад в об'єктив. Це призводить до того, що будь-які шорсткі ділянки або грудочки виявляються темними у світлому полі.

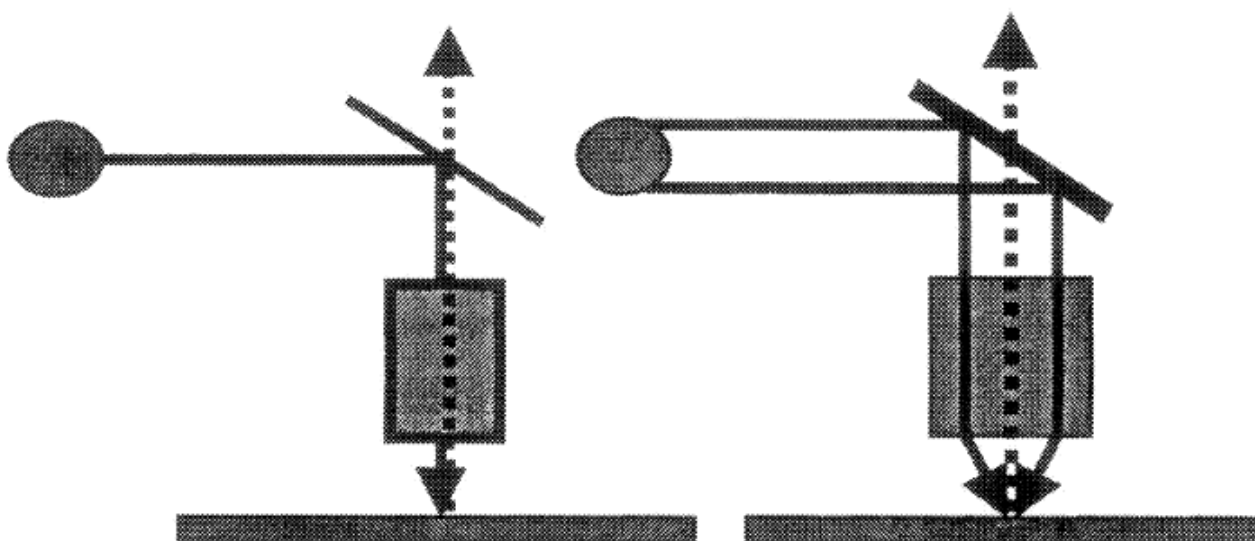


Рисунок 2.4 - Схематичне зображення оптичного шляху у світлопольній мікроскопії, (14)

МЕТОД ТЕМНОПОЛЬНОЇ МІКРОСКОПІЇ

Метод отримання зображення, що використовує освітлення під кутом для посилення контрасту у зразках, що не відображаються добре при нормальних умовах освітлення світлового поля. Світло нульового порядку (пряме світло)

блокується непрозорим оклюзивним (поглинаючим) диском у конденсорі мікроскопа. Як наслідок, до відбивного дзеркала доходять лише периферійні промені світла. Вони відображаються дзеркалом та проходять через порожнистий комір, що оточує об'єктив, з тим щоб висвітлити зразок під похилими кутами.

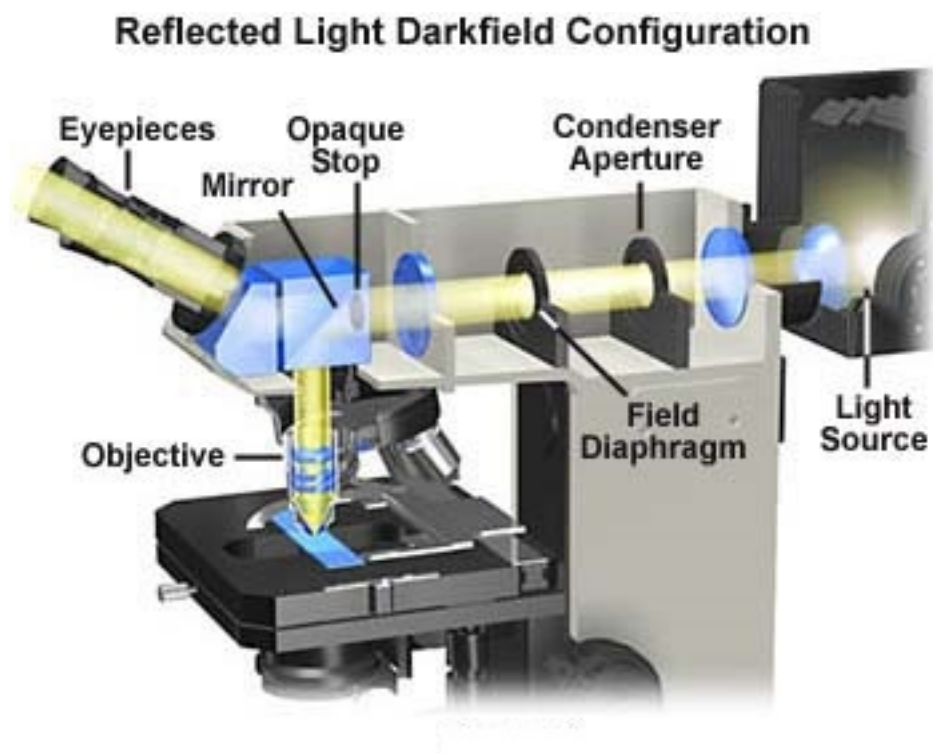


Рисунок 2.5 - Схема типового світлового мікроскопа, (15)

Всередині вертикального освітлювача світло, що випромінюється вольфрам-галогенною лампою на низькій напрузі при високій інтенсивності (50 або 100 Вт) проходить через колекторну лінзу а потім через апертуру конденсора та діафрагму поля перш ніж ударитись об непрозору перегородку у відкритому порті темнопольного блоку зеркал, що знаходиться над об'єктивом у передній частині освітлювача (рис. 1)

Непрозора перегородка блокує центральну порцію світлового променя, таким чином лише порожнистий циліндр світла проходить у блок дзеркал (рис. 2). При цьому діафрагми апертури та поля відкриваються до максимальних положень щоб уникнути блокування периферійних променів світла від джерела.

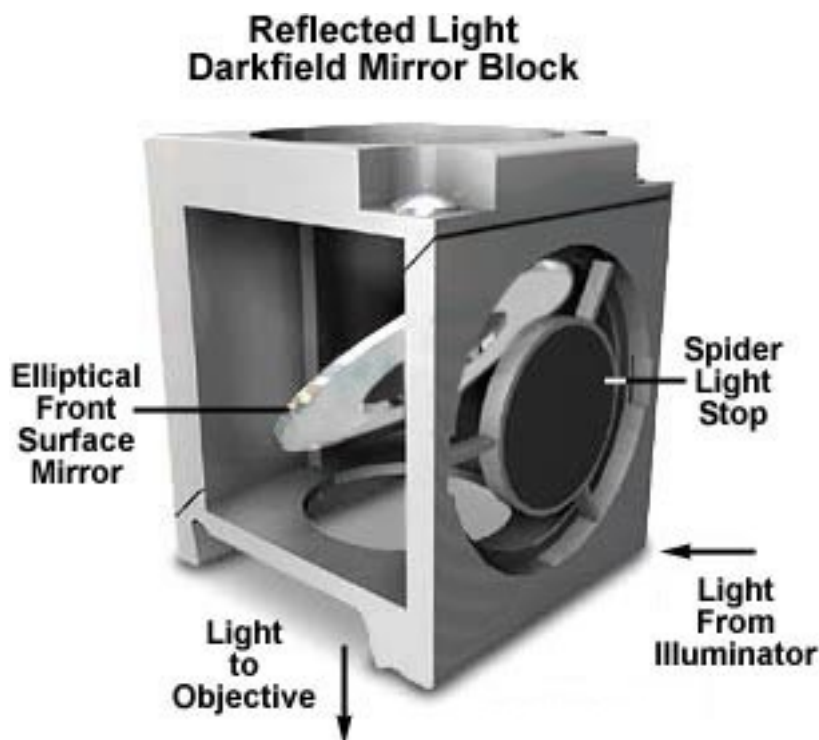


Рисунок 2.6 - Темнопольний блок дзеркал відбитого світла, (15)

Світло, що надходить до дзеркального блоку, відбивається спеціальним дзеркалом, розташованим всередині трубки у блоці. Це дзеркало орієнтоване під кутом 45 градусів до падаючого променя і має еліптично розкритий отвір, оточений повністю осрібленим дзеркалом передньої поверхні. Периферійні промені світла, відбиті від еліптичного дзеркала, відхиляються вниз, виходячи знизу вертикального освітлювача. Потім циліндр світла проходить через накінецьник, перш ніж потрапити в спеціально побудовані об'єктиви, відомі як об'єктиви Neo, BF / DF (світлопольний/темнопольний) або BD

Світло від блоку дзеркального блоку темного поля рухається вниз по 360-градусній порожнистій камері, що оточує центрально розташовані лінзові елементи спеціально сконструйованих об'єтивів відображеного світла, як показано на малюнку 3. Це світло направляється на зразок від кожного азимута косими променями, формуючи порожнистий конус підсвічування за допомогою кругових дзеркал або призм, розташованих у нижній частині порожнистої камери об'єктива. Отже, об'єktiv служить двома окремими оптичними системами, сполученими коаксіально, так що зовнішня система функціонує як конденсор темного поля, а внутрішня – як типовий об'єktiv.

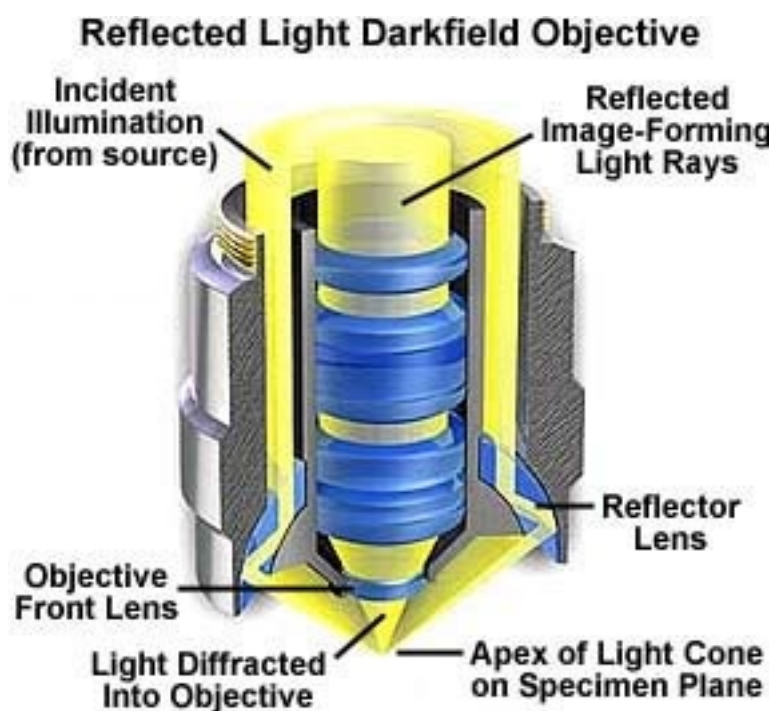


Рисунок 2.7 - Темнопольний об'єktiv відбитого світла, (15)

Таким чином вловлюється розсіяне або переломлене світло, що виходить зі зразка. Таке світло можуть відображати лише неплоскі об'єкти, що робить використання даного методу у край доцільним для виявлення подряпин та дефектів на зразку, а також дослідження зразків із здеркальною поверхнею, таких як напівпровідникові пластини. Темнопольна мікроскопія - один із найефективніших методів покращення контрасту у світловій оптичній мікроскопії.

Можливе суміщення зображень, отриманих за допомогою методів темного та світлого поля. Такий метод спостереження називається MIX-спостереження, і поєднує у собі переваги обох методів. Так, у наведеному

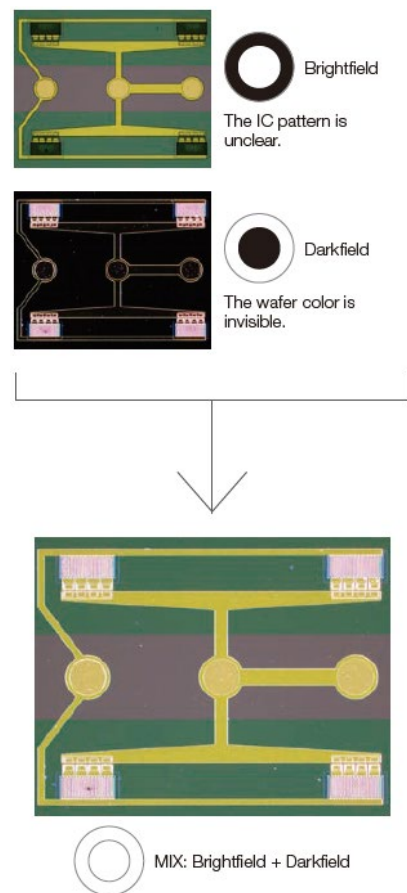
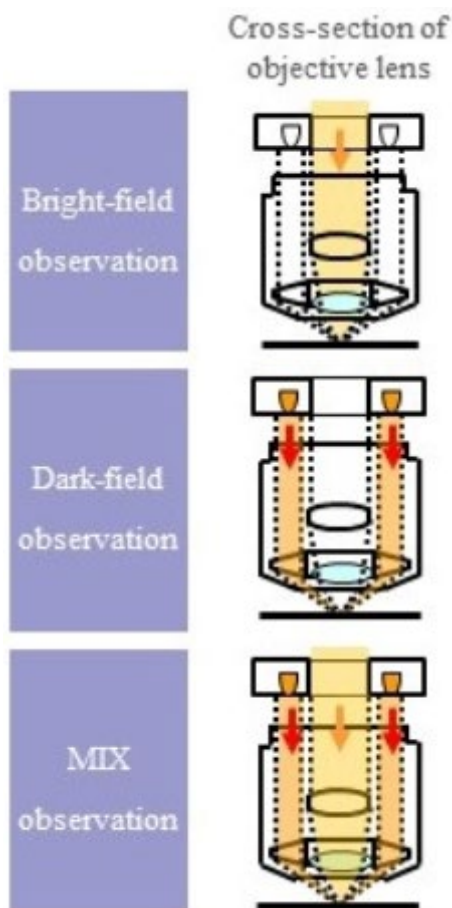


Рисунок 2.8 - Формування MIX-зображення, (16) Рисунок 2.9 - MIX-зображення темного та світлого поля, (15)

прикладі, використовуючи метод світлого поля маємо нечітке зображення патерну схеми, а використовуючи метод темного поля не маємо уявлення про колір пластини. MIX метод дозволяє чітко зазначені параметри на одному зображенні.

МЕТОД ДИФЕРЕНЦІАЛЬНОГО ІНТЕРФЕРЕНЦІЙНОГО КОНТРАСТУ (ДІК)

Цей метод фазово-контрастної візуалізації характеризується тим, що висота зразка, що, зазвичай, не відображається при дослідженні світлого поля, доступна для спостереження.

Підсилення контрасту досягається створенням штучних тіней, ніби зразок освітлюється збоку. Для реалізації методу ДІК поляризоване світло розділяється на дві ортогонально поляризовані частини. Взаємно когерентні частини, які просторово зміщені (зрізані) у площині зразка, потім рекомбінуються перед спостереженням. Інтерференція двох частин при рекомбінації чутлива до відмінностей у їх оптичному шляху, добутку їх показника заломлення та геометричної довжини шляху. Спостережуваний контраст пропорційний градієнту довжини шляху вздовж напрямку зсуву, забезпечуючи появу тривимірного фізичного рельєфу (рис 4)

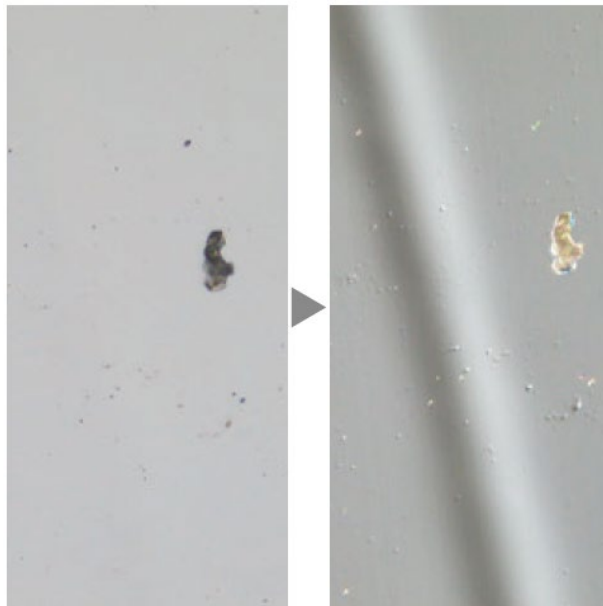


Рисунок 2.10 - Зображення, отримане методом ДІК, (15)

У порівнянні з типовою конфігурацією, що використовується у мікроскопії прохідного світла (transmitted light microscopy), мінімальні необхідні

інструментальні потреби для методу диференціального інтерференційного контрасту відбитого світла набагато простіші. Для того щоб залучити цей метод потрібна лише одна двопроменепереломлююча призма Номарського або Волластона, а об'єктив слугує одночасно як конденсор і оптична система, що утворює зображення.

Для відокремлення поляризованого світла, що виходить від поляризатора, на дві складові, спеціалізовану призма для розщеплення променя (яку часто називають призмою конденсора) розміщують безпосередньо у спряжену фокусну площину діафрагми конденсора, або ж поблизу неї. Падаючі хвильові фронти плоско-поляризованого світла, розбиваються (або розділяються) на взаємно перпендикулярні (ортогональні) поляризовані компоненти (що називаються звичайними та похідними хвильовими фронтами) за допомогою призми Номарського.

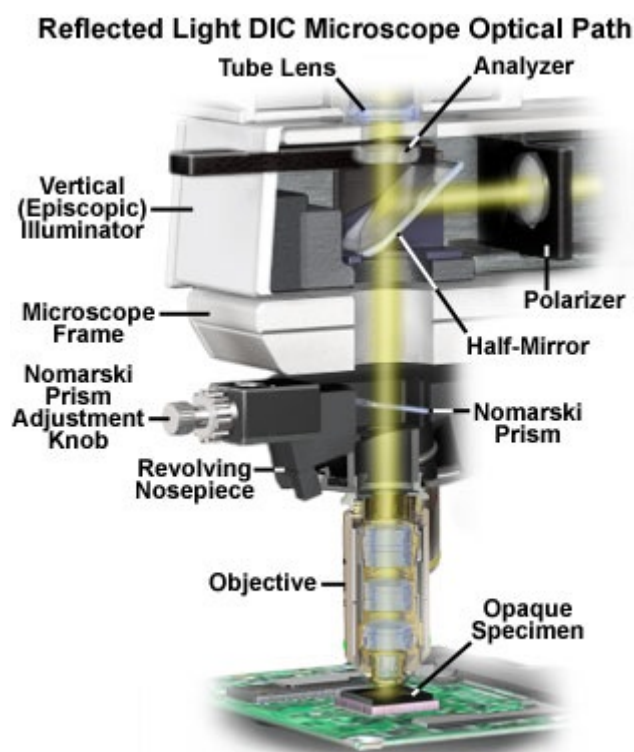


Рисунок 2.11 - Ключові апаратні компоненти у методі ДІК, (15)

Пучок, що генерується джерелом світла, проходить через діафрагми апертури діафрагми та поля (не показано) у вертикальному (епіскопичному) освітлювачі перед тим, як зустріти лінійний поляризатор, розміщений з віссю передачі, орієнтованою як Схід-Захід по відношенню до рами мікроскопа (рис 2.11). Лінійно поляризоване світло, що виходить з поляризатора, відбивається від напівдзеркальної поверхні, розміщеної під кутом 45° до падаючого променя.

Відхилені світлові хвилі, що таким чином рухаються по оптичній осі мікроскопа, надходять до призми Номарського, розміщену над об'єктивом у насажці мікроскопа, де вони розділяються на поляризовані ортогональні компоненти і відхиляються відповідно до геометрії подвійно заломлюючої призми.

Діючи в якості високої чисельної апертури, ідеально вирівняної та оптично відкоригованої конденсором освітлення, об'єktiv мікроскопа фокусує на поверхні непрозорого зразка зрізані ортогональні хвильові фронти, утворені призмою Номарського. Відображені хвильові фронти, що долають різні оптичні шляхи як наслідок топографії поверхні зразка, збираються об'єктивом та орієнтуються на інтерференційну площину призми Номарського, де вони рекомбінуються для усунення зсуву. Після виходу з призми Номарського хвильові фронти проходять через напівдзеркальну поверхню по прямій траєкторії, а потім стикаються з аналізатором (другим поляризатором), розташованим з віссю передачі, орієнтованою у напрямку Північ-Південь.

Компоненти ортогональних хвильових фронтів, паралельні вектору передачі аналізатора, здатні проходити через загальний азимут, а згодом зазнають інтерференції у площині фіксованої діафрагми окуляра, генеруючи амплітудні коливання та формуючи зображення ДІК. Формування кінцевого зображення у ДІК мікроскопії є результатом інтерференції між двома різними хвильовими фронтами, які досягають площини зображення ледь поза фазою один з одним. Це не є простою алгебраїчною сумою інтенсивностей, відображених у напрямку площини зображення, як випадку з іншими режимами візуалізації.

Зважаючи на те, що об'єктив мікроскопа відіграє подвійну роль, інтерференційна картина призми Номарського, що проектується в об'єктивну задню фокусну площину, одночасно розміщується у фокальній площині освітлювальної системи лінз конденсора.

Як зазначалось, значна відмінність між диференційованою контрастною інтерференцією в мікроскопії прохідного та відбитого світла полягає в тому, що для зсуву та рекомбінації пучка у першій методиці потрібні дві призми Номарського (або Волластона), тоді як у конфігурації відбитого світла необхідна лише одна призма. Світло проходить через ту саму призму Номарського двічі, проходячи у протилежних напрямках, відбиваючи світло ДІК. Зсув, що виникає при проходженні світлових хвиль крізь призму на шляху до об'єктиву, погашається при проходженні крізь призму на зворотньому шляху з поверхні зразка. У зв'язку з цим, призма Номарського і об'єктив виконують функцію для вхідних світлових хвиль, ідентичну до першої оптичної системи призми та конденсора в мікроскопії прохідного світла. Таким чином світло, що відбивається від поверхні зразка, збирається об'єктивом і фокусується в інтерференційній площині призми Номарського (сполученої з цільовою задньою фокусною площиною), аналогічно тому, як ці компоненти функціонують у методі пропускного світла.

Як для усього хвильового фронту, так і для окремого позаосного світлового променя, лінійно поляризоване світло від поляризатора відхиляється напівдзеркальною поверхню і входить у призму Номарського, розташовану за об'єктивом.

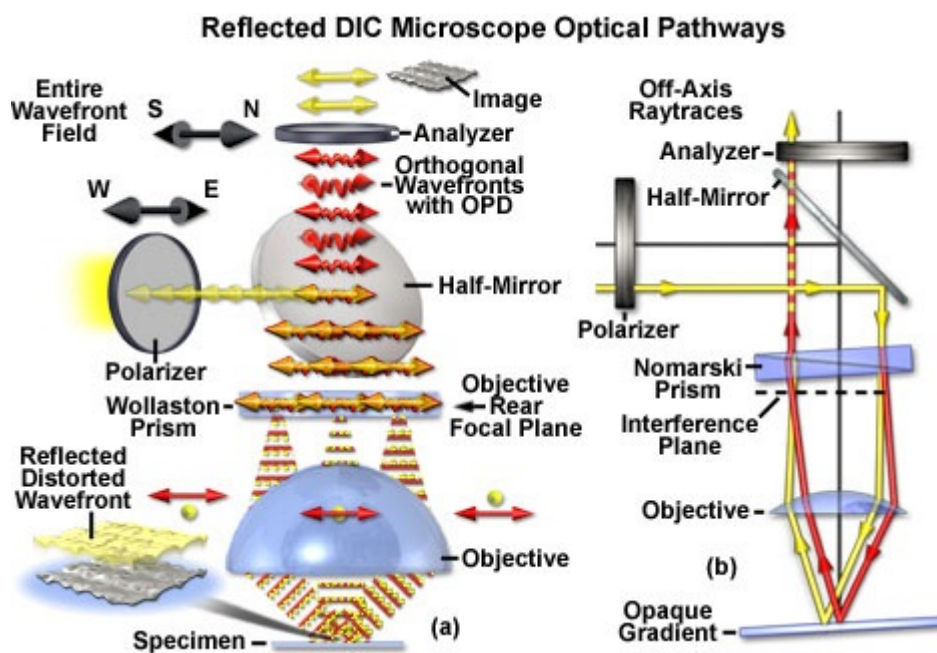


Рисунок 2.12 - Оптичні шляхи світла у методі ДІК, (15)

Зрізані хвильові фронти фокусуються системою лінз об'єтивів і огортають зразок освітленням, що відображається у формі деформованого фронту хвилі (рис. 2.12 (а)) або профіля непрозорого градієнта (мал. 2.12 (б)) назад у об'єktiv передньої лінзи. Різниця оптичного шляху, що утворюється між ортогональними хвильовими фронтами, дозволяє частині рекомбінованого світла пройти через аналізатор формуючи зображення ДІК. На малюнку 2.12 (б) показано, що траєкторія падаючого на зразок світлового променя зміщена на ту саму відстань від оптичної осі мікроскопа, що і промінь, відбитий від поверхні.

Розглянемо область поблизу контактного дроту на поверхні мікропроцесорної інтегральної схеми, знятої світлопольним методом, темнопольним методом та методом ДІК за допомогою вертикального освітлювача та відбитого світла. Зображення світлого поля (мал. 2.13 (а)) страждає від значної недостатності контрасту в деталях схеми, але дає уявлення про контур схеми та розташування елементів наявних на поверхні. Підсвічування темного поля (мал. 2.13 (б)) виявляє лише дещо більше деталей, ніж яскраве поле, виявляючи розриви

поблизу вертикальних ліній шини (центральна права частина зображення) та країв прикріплювальної панелі зліва. Зображення ДІК (рис. 2.13 (с)) дає більш повний аналіз структури поверхні, включаючи текстуру контактних площадок, з'єднання колодки до шин і численні дрібні деталі в схемі з лівої сторони зображення.

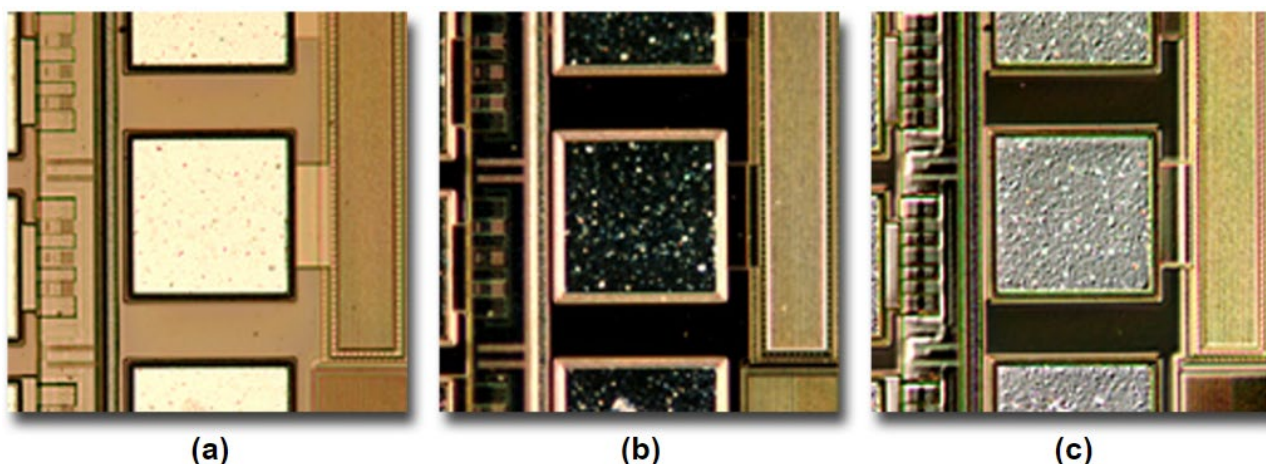


Рисунок 2.13 - Порівняння методів світлого поля (а), темного поля (б) і ДІК (с), (15)

ТЕХНІКА ВІДСТЕЖЕННЯ ФЛУОРИСЦУЮЧИХ ЗРАЗКІВ

Органічні сполуки, що залишаються на поверхні мікросхеми, флуорисцують. Флуоресценція - це оптичне явище, яке виникає, коли матеріал поглинає світло на певній довжині хвилі (зазвичай УФ) і як наслідок випромінює світло на більшій довжині хвилі (зазвичай у видимому діапазоні). Коли флуоресцентний матеріал поглинає УФ-світло, деякі його електрони будуть збуджені до станів вищої енергії.

Ці збуджені електрони втратять частину своєї енергії завдяки не випромінювальним процесам, таким як теплові коливання, розміщуючи їх у менш збуджених станах. Потім ці електрони будуть релаксувати назад до свого основного енергетичного стану, і в процесі цього випромінювати світло довшої хвилі, як правило, у видимій області.

Ця властивість зразка самостійно забезпечувати джерело світла, яке використовується для формування зображення, використовується у методі флуоресцентної візуалізації. Зразок рівномірно освітлюється синім або ультрафіолетовим світлом для збудження флуоресцентних молекул.

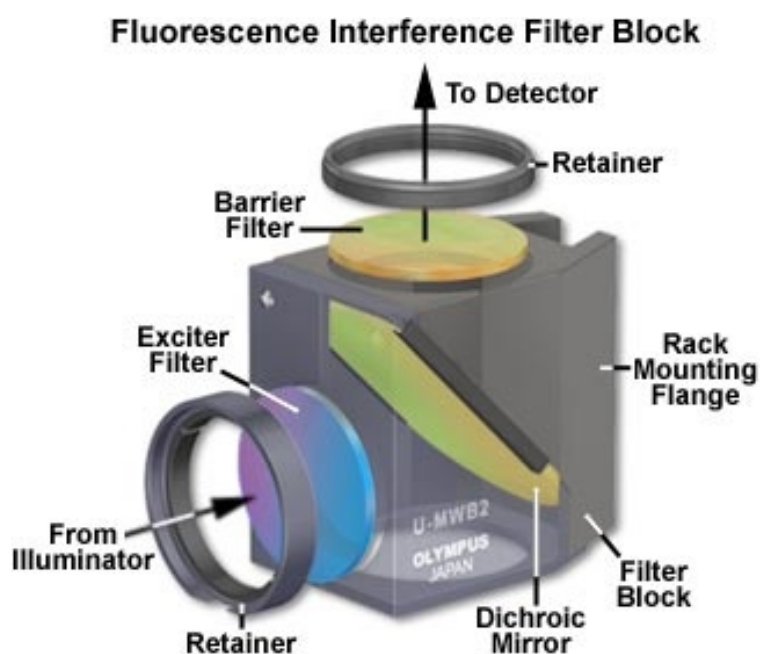


Рисунок 2.14 - Дихроїчний бар'єрний фільтр, (15)

Випромінювання видається цими молекулами на більшій довжині хвилі, ніж світло ілюмінації, зазвичай у зеленому або жовтому діапазоні, і виявляється таким чином системою візуалізації.

Тип фільтру, що використовується для відокремлення освітлення від флуоресцентного сигналу - дихроїчний бар'єрний фільтр (рис. 2.14). Ці фільтри завжди є інтерференційними за типом. Покриття розроблене таким чином, щоб мати високу відбивну здатність для коротших довжин хвиль і високу пропускну здатність для більш довгих хвиль. Дріхроматичні розгалужувачі світла орієнтовані під кутом 45° по відношенню до напрямлення світла збудження, що надходить у

куб через флуоресцентний освітлювач відбитого світла. Їх функція полягає в тому, щоб направити вибране світло збудження (коротші довжини хвилі) через об'єктив і на зразок.

Вони також мають додаткові функції, такі як пропускання світла довшої хвилі до бар'єрного фільтра та відбиття будь-якого розсіяного світла збудження назад у напрямку до джерела освітлення.

Об'єктиви повинні мати низькі показники хроматичної аберації та високу пропускну здатність як на довжинах хвиль збудження, так і на довжинах хвиль випромінювання. Крім того, флуоресцентні сигнали часто є слабкими, що означає, що співвідношення сигнал / шум може бути низьким. За цих умов чутливість та відблиски від сторонніх джерел - основні недоліки методу.

МЕТОД СПОСТЕРЕЖЕННЯ У ПОЛЯРИЗОВАНОМУ СВІТЛІ

Поляризоване світло - це методика підсилення контрасту, яка покращує якість зображення, отриманого із подвійно заломлюючих матеріалів у порівнянні з іншими методами, такими як темнопольний, та світлопольний, ДІК та флуоресценція.

Мікроскоп з поляризованим світлом призначений для спостереження та фотографування зразків, які видно насамперед завдяки оптично анізотропному характеру, що підходить для контролю пластин та світлодіодних структур. Для виконання цього завдання мікроскоп повинен бути обладнаний як поляризатором, розташованим на шляху світла перед зразком, так і аналізатором, розміщеним в

оптичному шляху між задньою діафрагмою об'єктива і оглядовою трубкою або портом камери. Контраст зображення виникає внаслідок взаємодії плоскополяризованого світла з двопроменевим (або подвійно заломлюючим) зразком з тим щоб отримання два окремих хвильових компонентів, кожен з яких поляризований у взаємно перпендикулярних площинах.

Швидкість цих компонентів, яку називають звичайними та похідними хвильовими фронтами, різна і змінюється залежно від текстури матеріалу та стану кристала. Після взаємодії зі зразком компоненти світла перебувають у різній фазі, але рекомбінуються шляхом конструктивної та деструктивної інтерференції, проходячи через аналізатор.

На рисунку 2.15 представлена фотомікрографія відбититого поляризованого світла, що розкриває особливості поверхні мікропроцесорної інтегральної схеми. На зображенні, яке відображає частину арифметичної логічної одиниці чіпа, добре видно подвійно заломлюючі елементи, використані для виготовлення схеми.

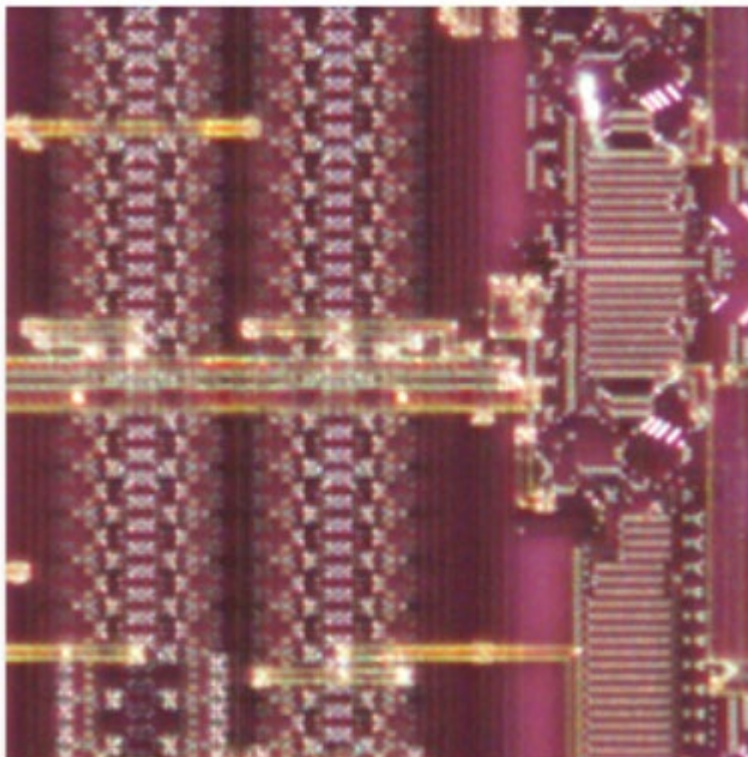


Рисунок 2.15 - Зображення, зняте методом спостереження у поляризованому світлі (23)

АЛГОРИТМИ АНАЛІЗУ ДАНИХ ОТРИМАНИХ ІЗ ЗОБРАЖЕНЬ

Розглянувши системи, що використовуються у світловій мікроскопії та шляхи отримання зображення, зосередимось на способах аналізу отриманих даних.

Зображення перетворюються в електронному вигляді з аналогового сигналу в цифровий масив і передаються в комп'ютерну пам'ять випадкового доступу (ОЗП) для подальшої обробки. Раніше датчики візуалізації переважно мали тип вакуумної трубки, розробленої для конкретних застосувань, таких як чутливість і стабільність при слабкому освітленні. Основними обмеженнями цих датчиків були нелінійна характеристика світла та геометричне спотворення. Основну частину сучасних датчиків становлять твердотільні пристрої, які мають майже нульове геометричне спотворення і лінійну світлову реакцію і дуже стабільні в часі.

Електроніка збору (захоплення) кадрів, додаткова частина до датчика зображення, перетворює сигнал з камери в цифровий масив. Оптичний сканер - ще один пристрій візуалізації, який може створювати зображення з високою роздільною здатністю та мінімальними спотвореннями при низькій вартості процесу. Однак пристрій вимагає проміжного кроку візуалізації для отримання друку або негативу, який згодом може бути сканований у комп'ютер.

Усі алгоритми візуального контролю, хоча і, здавалося б, різноманітні, використовують апріорні дані про стандарти допуску/недопуску. Ці апріорні знання організовані у моделі, які визначають стратегії та стандарти для процесу інспекції. Дані системи виконують інспекцію, порівнюючи деталь, що перевіряється, із набором попередньо визначених моделей. Типова процедура інспекції таких систем складається із попереднього опису (або вимірювання) кожного з відомих наборів дефектів, з використанням цих моделей для виявлення на зображенні кожного екземпляра дефекту та визначення його місця розташування.

Ще одна типова процедура - моделювання деталі за її нормальними, очікуваними ознаками, з подальшим використанням цієї моделі деталі для перевірки наявності усіх очікуваних особливостей та відсутності дефектів.

Загалом, автоматизовану систему візуального контролю можна розбити на фази навчання (моделювання) та фазу виявлення. Трьома основними етапами системи є виокремлення ознак, моделювання та виявлення їх наявності.

Модель - це організоване представлення ознак, виокремлених зі зразка, з якого можливо отримати адекватні описи та інформацію для перевірки. Більшість моделей деталей для огляду ґрунтуються на геометричних властивостях силуету деталі. Апріорна інформація, що стосується деталі (наприклад, розмірні допуски), також може бути частиною моделі. З іншого погляду моделювання можна інтерпретувати як підхід до розпізнавання синтаксичного шаблону, в якому геометричні ознаки перетворюються на примітиви, а їх просторові відносини подаються як стрічкова граматики.

Після процедури моделювання система містить модель, яка описує всі необхідні аспекти деталі, що підлягає огляду. Процес виявлення дефектів складається з відповідності виокремлених даних з деталі, що перевіряється, з даними моделі.

Деякі з методів виявлення орієнтуються на повну відповідність зображень або тип перехресних кореляцій, застосованих до інтенсивності зображення або ж на перехресно-кореляційний тип вимірювань, застосований до інтенсивностей у зображенні або до коефіцієнтів деяких математичних перетворень (наприклад, перетворення Фур'є). У цих випадках модель представляє собою зображення ідеальної частини, або її перетвореної версії, а необхідне виявлення - це просте порівняння.

Тим не менш, ці методи мають ряд недоліків, таких як невиправдана інтенсивність обчислювань при розрахунку цифровим шляхом. Більше того, якщо зображення деталі, що перевіряється, зашумлене, або деталь розташування деталі

не витримано, виявлення буде дуже неефективним. Алгоритми виявлення такого типу мають серйозні обмеження у промислових інспекційних програмах.

Методи виявлення з використанням репрезентативних ознак та їх взаємозв'язків (високоструктурована модель) забезпечують спосіб інспекції та визначення дефектів на основі вимірювань, взятих по основним ознакам. Цей тип алгоритмів є більш надійним та ефективним. Навчання системи в цьому випадку має надзвичайно важливе значення. Цей метод виявлення включає розпізнавання ознак на досліджуваному зображенні, які відповідають вузлам на модельному графіку, перевірку їх специфікацій та вимірювання їх співвідношень. Якщо всі вимірювання узгоджуються з моделлю, деталь проходить перевірку.

Загалом проблема виявлення дефектів може бути сформульована за двома підходами: (1) Пошук дефектів у даній частині, що відповідають визначенню дефектів моделі. (2) Перевірка всіх визначених ознак у даній частині на відповідність очікуваним ознакам, що визначені моделлю деталі. Перший підхід є процедурою виявлення дефектів, тоді як другий - це процес перевірки. Вибір методу виявлення сильно залежить від характеру деталі, що перевіряється, та типу використовуваної моделі. Підхід перевірки частіше застосовується в промисловій інспекції, оскільки підготовку моделі деталей можна легко виконати, "показавши" системі нормальну прототипну частину.

МЕТОД МАТЕМАТИЧНОЇ МОРФОЛОГІЇ

Факторами, що спричиняють часткові розмиття, є мала глибина різкості при використанні великого збільшення та той факт що схема може мати неплоску поверхню.

У фокусі при цьому залишаються лише ті ділянки, розташування яких співпадає з фокусною відстанню. Інші ж точки розмиваються, пропорційно до їх відстаней до лінзи.

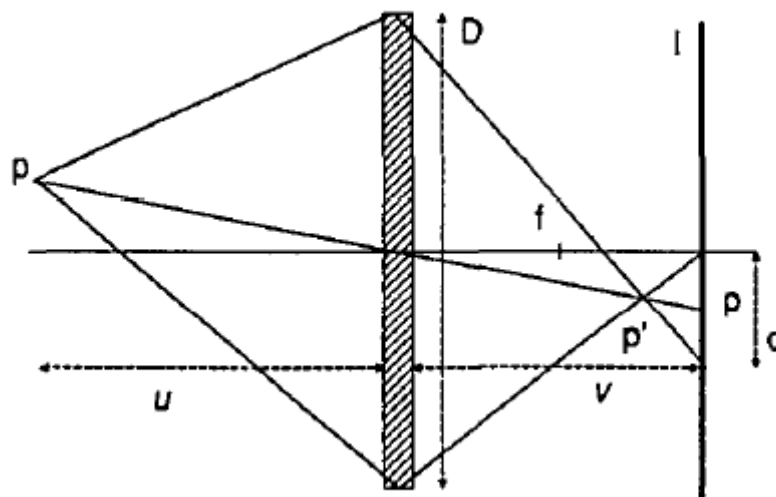


Рисунок 3.1 - Геометрія тонкої лінзи, (2)

Фокальна точка лінзи, f , розташована там, де лінза збирає промені, паралельні до оптичної осі, разом. Змінюючи u , відстань від лінзи до об'єкта, формується вибірка зображень $\{I_1, \dots, I_n\}$, на кожному з яких фокус максимально припадає на той чи інший елемент.

Вимоги до зображень:

При I_1 , отриманому на u_1 , $1/f > 1/u_1 + 1/v$, та при I_n , отриманому на u_n , $1/f > 1/u_n + 1/v$, та $u_1 > u_2 > \dots > u_n$, де v – відстань від лінзи до площини зображення.

Для кожної точки зображеної сцени, необхідно визначити у якому зображенні I_k спостерігається найкращий фокус, та згенерувати точне зображення сцени.

Вибірка зображень автоматизується, вибирається точка, що знаходиться поза фокусом у початковій або фінальній позиції. Між цими токами гарантовано буде знаходитись набір потрібних частково сфокусованих зображень.

Для того щоб автоматизувати визначення різкості зображення, формулюється критерій, що має відношення до високочастотного вмісту зображення. Зважаючи на це, проводиться аналіз градієнтних зображень I'_i замість самих I_i . Ці зображення показують контраст об'єктів, що лежать на зображенні. Об'єкт вважається сфокусованим, якщо контури, що відділяють його від решти сцени, чітко визначені, тобто якщо модуль градієнта, що його визначає, вище, ніж на інших зображеннях.

На кожному зображенні «об'єкт» виокремлюється шляхом застосування алгоритму водорозділу (це перетворення розглядає зображення, на яке діє, як топографічну карту, яскравість кожної точки якої представляє її висоту, і знаходить лінії, що проходять уздовж вершин хребтів). Таким чином, об'єкти визначаються закритим контуром.

Наступним кроком, після застосування алгоритму до усієї вибірки I_i , є встановлення, на якому із зображень який об'єкт найкраще визначений. Це ускладнюється тим, що процес роботи із зображеннями, що знаходяться поза фокусом, спричиняє трансляцію контурів та їх злиття або зникання. Через це необхідним стає отримання послідовності зображень, на яких процеси трансляції не перевищують розмір мінімального елемента матриці дисплею, що формує зображення.

Алгоритм, що приміняється до цього процесу, наступний:

1. Для кожного зображення розраховується модуль градієнту I'_1, I'_2, \dots, I'_n .
2. Для кожного зображення, розрахованого у попередньому пункті, застосовується алгоритм водорозділу. Формуються $W(I'_1), W(I'_2), \dots, W(I'_n)$. Кожна інстанція $W(I'_i)$ складається з декількох областей, що являють собою розділи зображення: $W(I'_i) = \{R_j\}$
3. Кожна точка (x, y) кожного зображення $W(I'_i)$ асоціюється з розділами, що її містять, $(x, y) \rightarrow (R_1, R_2, \dots, R_k)$ так, що:

$$(x, y) \in R_1, \quad R_1 \subset W(I'_1)$$

$$(x, y) \in R_2, \quad R_2 \subset W(I'_2)$$

$$\begin{array}{cc} \cdot & \cdot \\ \cdot & \cdot \\ \cdot & \cdot \end{array}$$

$$(x, y) \in R_k, \quad R_k \subset W(I'_k)$$

4. $R_j \subset W(I'_j)$ вважається максимально контрастним якщо середнє модулів градієнта, що визначають R_j , вище відповідних середніх областей R_1, R_2, \dots, R_n , що є областями, які містять (x, y) для кожного $W(I'_k)$

Таким чином формується зображення без ефектів розмиття.

ВІДНІМАННЯ ЗОБРАЖЕННЯ

Віднімання зображення - це найпростіший метод візуального контролю. При такому підході деталь, що підлягає огляду, сканується та її зображення порівнюється із зображенням еталонної деталі. "Характерна ознака" - це функція інтенсивностей зразка у всіх локаціях (x, y) , "модель" - це просто інша функція інтенсивностей еталонного зразка, а "виявлення" - це операція віднімання, яка виконується для всіх (x, y) . Зняте зображення, що демонструє дефекти, може згодом відображатися та аналізуватися. Цей підхід віднімання зазвичай називають методом "порівняння за еталоном". На рисунку показаний процес віднімання як логічна операція, коли характерна ознака і модель обидві є бінарними функціями.

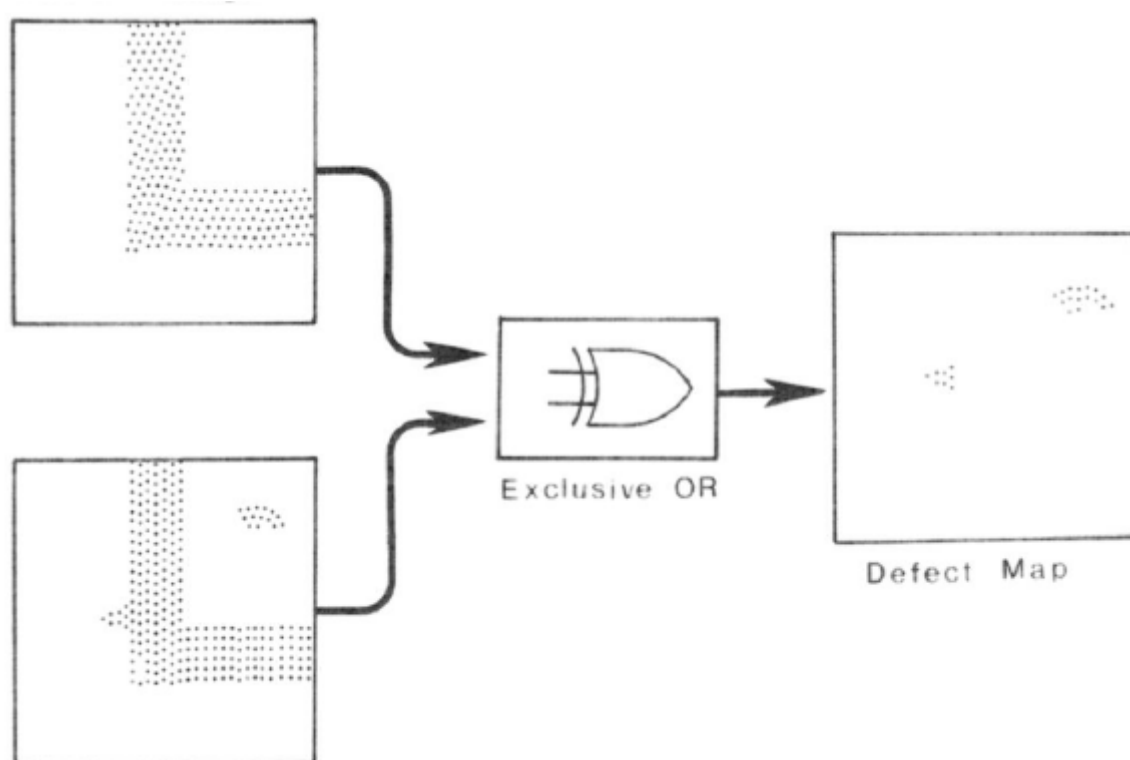


Рисунок 3.2 - Процес віднімання зображення, (17)

ВІДНІМАННЯ ЗОБРАЖЕНЬ РОЗДІЛОМ КОЛЬОРУ

Розділення кольорів - це диференціальний метод сканування, який використовує кольорову інформацію для виявлення дефектів фотомасок інтегральних схем. Три однакових фотомаски освітлюються бік о бік; пропущене світло фільтрується з метою отримання комплементарних кольорів. Три кольорові зображення потім накладаються. Виходячи з того, що вірогідність виникнення дефектів на одному і тому ж місці в трьох фотомасках мізерна, місця розташування дефектів у кожному з трьох візерунків фотомаски можна визначити, виявивши накладений колір. "Характерною ознакою" у цьому випадку є трихроматична міра яскравості замість монохромного значення інтенсивності. Цей метод вимагає точного оптичного вирівнювання.

МЕТОД ВІДПОВІДНОСТІ ОЗНАК

Метод відповідності ознак представляє собою вдосконалену форму методу порівняння зображень. Замість того, щоб порівнювати зображення досліджуваного зразка, із зображенням еталонної частини, порівнюються характеристики, витягнуті з деталі, та ті, що визначені моделлю. Отримані ознаки в більшості випадків є геометричними візерунками, такими як комірці, лінії, отвори тощо. У цьому підході вилучення виразних особливостей та їх організація в моделі для ефективного узгодження визначають успіх інспекції. Такий підхід значно стискає дані зображення для зберігання, і в той же час знижує чутливість до змін вхідних даних про інтенсивність і підвищує надійність системи. Цей метод також називається узгодженням по шаблону.

Нехай $f(x, y)$ - поле зображення, що містить елемент, що слід перевіряти, а $t(x, y)$ - шаблон дефектного малюнка. Шаблон $t(x, y)$ рідко коли-небудь точно відповідає дефектам $f(x, y)$ через шум зображення, ефекти квантування та апіорну невизначеність щодо точної форми та структури дефекту, який слід виявити. Отже, узгодження здійснюється обчисленням міри подібності $C(x, y)$ між $f(x, y)$ і $t(x, y)$ по всіх точках (x, y) у $f(x, y)$, з подальшим встановленням чи подібність перевищує деякий встановлений пороговий рівень. Однією загальною мірою подібності є перехресна кореляція (або варіація перехресної кореляції), визначена як $C(x, y) = \sum_i \sum_j [f(x + i, y + j) \times t(i, j)]$. З точки зору оптимізації процесу, вважається що $t(x, y)$ дорівнює нулю поза невеликим вікном. У кожній точці (x, y) збіг обмежується областю перекриття між перекладеним вікном $t(x, y)$ та полем зображення $f(x, y)$. У локації збігу, тобто виявленого дефекту, $C(x, y)$ зростає. Одним з головних недоліків даного методу є те, що необхідно використовувати велику кількість шаблонів.

ПРАКТИЧНЕ ЗАСТОСУВАННЯ МЕТОДУ СВІТЛОПОЛЬНОЇ МІКРОСКОПІЇ ДЛЯ АНАЛІЗУ СХЕМИ НА ПРЕДМЕТ ПОДРЯПИН МЕТАЛІЗАЦІЇ З ВИКОРИСТАННЯМ ПРОДУКЦІЇ КОМПАНІЇ OLYMPUS

У теоретичному описі методів мікроскопії акцент був зроблений на світлову мікроскопію, з огляду на простоту відносно інших методів. У плані практичного застосування метод світлової мікроскопії охоплює повальну більшість категорій дефектів, описаних у роботі, тому розглянемо конкретний приклад застосування такого мікроскопу, поетапно описуючи усі стадії аналізу, від поміщення мікрочіпу на підставку до відхилення або затвердження деталі з урахуванням результатів.

Використаємо мікроскопічну систему Olympus MX63L, розроблену з оглядом на використання у аналізі друкованих плат, та цифрову камеру Olympus DP-74.

Реєстрація зображення відбувається цифровою камерою. Тип сенсора, що використовується у камері – CMOS (комплементарна структура метал-оксид-напівпровідник). Цей сенсор утилізує фотоелектричний ефект, що виникає, коли фотони взаємодіють із кристалізованим кремнієм з переміщенням електронів із валентної зони в зону провідності. CMOS-датчик перетворює заряд, накопичений за час витримки, у напругу за допомогою підсилювачів, що знаходяться безпосередньо біля кожного

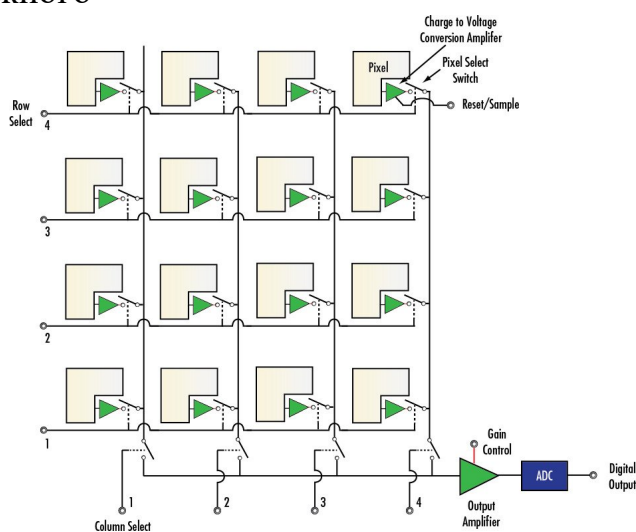


Рисунок 4.1 – Блок-діаграма CMOS-датчика, (24)

пікселя (рис. 4.1). Підсилення та квантування напруги створюють вихідне цифрове значення. Чим більша інтенсивність освітлення пікселя, тим більший сигнал. Сигнал об'єднується по рядках і стовпцях і поступає до цифро-аналогових перетворювачів на чіпі.

Таким чином, кожен піксель (елемент зображення) містить, крім фотодіоду, по три транзистора, які перетворюють накопичений електронний заряд у вимірювану напругу, скидають фотодіод і передають напругу на вертикальну колону шини. Отриманий масив являє собою організовану контрольну дошку з металевими шинами зчитування, які містять фотодіод та пов'язану схему підготовки сигналу на кожному перехресті. Шини застосовують сигнали синхронізації до фотодіодів і повертають інформацію про зчитування назад в аналогову схему декодування та обробки, розміщену окремо від масиву фотодіодів. Ця конструкція дозволяє зчитувати сигнали з кожного пікселя в масиві простими методами адресації x , y .

Кожен підсилювальний елемент у кожному пікселі виділяє тепло при роботі, а при інспекції час роботи камери може складати більше восьми годин підряд. З огляду на це, щоб уникнути шумів та перешкод сигналу, пов'язаних з нагрівом матриці, використовується термоелектричне охолодження за ефектом Пельтьє.

Технологія Pixel-Shifting допомагає підвищити роздільну здатність, не жертвуючи при цьому чутливістю. Вона полягає у в послідовному зсуві матриці по осях X і Y під час знімка. Знімок складається з окремих кадрів, отриманих в 9 позиціях. Зсув проводиться з кроком 1,5 пікселя. Ця нова позиція вимірюється знову, створюючи «віртуальний піксель». Таким чином умовний розмір пікселя у Olympus DP-74 при використанні технології Pixel Shifting складає 8,79 мкм, що перевищує розмір пікселя у камерах компаній-конкурентів (розмір пікселя у Nikon DS-Ri2 7,3 мкм).

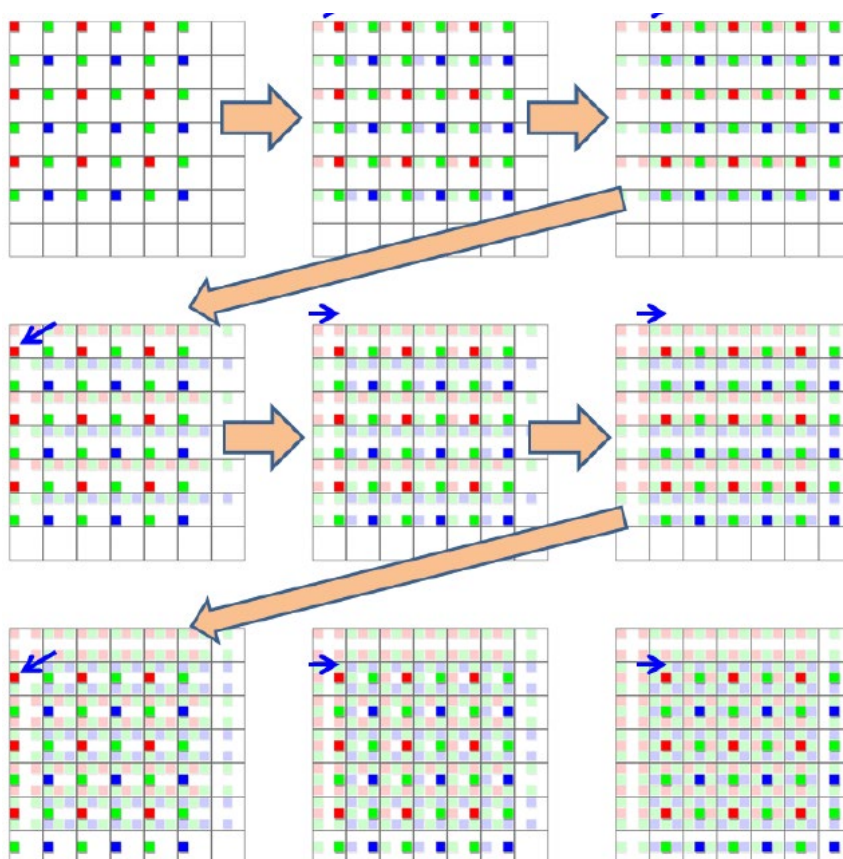


Рисунок 4.2 - Схема технології Pixel-Shifting, (15)

Обробка сигналу, отриманого на виході камери, здійснюється програмним забезпеченням Olympus Stream.

Розглянемо конкретні кроки, необхідні для перевірки допуску схеми за критерієм відповідності стандартам з огляду на подряпини у металізації. Обладнання, яке використовується в цьому випробуванні, повинно бути здатне демонструвати відповідність зразка відповідним вимогам, що у даному конкретному випадку не вимагає більш складного методу аніж світлопольна мікроскопія.

Умови допуску:

1. Робочий елемент: подряпини не розкривають нижній шар, при цьому непорушена ширина металу $X > 50\%$ від початкової ширини металу D . (рис 4.2)

2. Сбійний елемент: подряпини не розкривають нижній шар, при цьому непорушена ширина металу X становить $< 50\%$ від початкової ширини металу D . (рис 4.2)

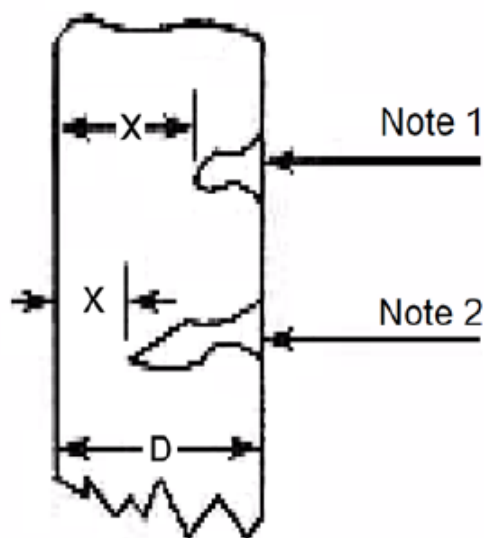


Рисунок 4.3 - Ілюстрація до умов допуску/недопуску елемента з огляду на подряпини металізації, (18)

Для отримання зображення, у інтерфейсі програми необхідно викликати наступні команди: View > Layout > Acquisition

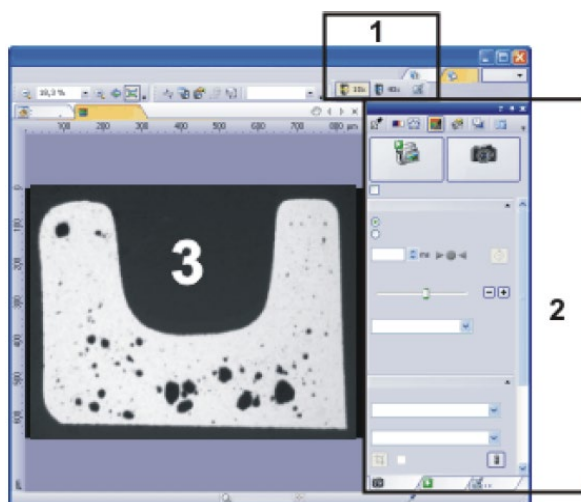





Рисунок 4.4 - Вигляд інтерфейсу Olympus Stream, (22)

На панелі контролю мікроскопу (1) обираємо об'єктив, що задіюється у дослідженні. Нехай у нашому випадку це буде LCPLFLN-LCD, що за параметрами роздільності (0,48 мкм) та значенням збільшення (100x) цілком задовольняє умовам експерименту.

У секції контролю камери (2) обираємо команду Live, що виведе зображення зразка у секцію (3).

Далі фокусуємо зображення. Фокусування на сітці в фокальній площині, доступне у обраному апаратному розширенні, полегшує настройку фокуса для всього зразка. Роздільна здатність та відтворення кольору також налаштовуються на цьому етапі.

Тепер, за наявності подряпин, необхідно виміряти їх розміри у порівнянні із загальною шириною смуги. Для цього використаємо команду View > Measurement and ROI та обираємо кнопку Arbitrary Line . Кліком лівої кнопки миші обираємо початкову точку, та повторним кліком – кінцеву. Повторним натисканням кнопки Arbitrary Line  завершуємо вимірювання довжини.

Після інспекції, результати вимірювання можна експортувати до таблиці Excel обравши команду Export to Excel .

Таким чином, використавши мікроскопічну систему Olympus MX63L цифрову камеру Olympus DP-74 та програмне забезпечення Olympus Stream ми провели аналіз зображення інтегральної мікросхеми на предмет наявності дефектів металізації, а саме подряпин.

При перевищенні подряпини 50% довжини смуги металізації елемент відхиляється, що також актуально при розкриванні нижнього шару. Усі технологічні вимоги до даного експерименту покриваються методом світлопольної мікроскопії, тому саме він був обраний у даному випадку.

ВИСНОВКИ

Візуальний контроль якості інтегральних схем – важливий етап виробництва, на якому виявляються різноманітні дефекти технологічного процесу – дефекти металізації, такі, що пов’язані з похибками процесу дифузії, пасивації, діелектричного екранування, вади захисного шару гласивації, дефекти, що виникають у процесі розмітки, дефекти пасивних елементів схем, кріплення дрітів та потрапляння на схему чужорідних часток.

Якщо схеми з наявними вищеперерахованими дефектами допустяться до стадії упакування та перевозки, це негативно вплине репутацію компанії-виробника, особливо якщо будуть виявлені при повторній інспекції. Кожен виробник зацікавлений у тому, щоб максимально оптимізувати та впроваджувати нові методи і алгоритми виявлення даних дефектів.

Системи аналізу зображення в методах візуального контролю якості інтегральних схем варіюються. Галузь стрімко розвивалась із початку семидесятих років. Щоб відповідати потребам промисловості, собівартість систем візуального контролю повинна бути низькою, при цьому не втрачаючи у плані швидкості, точності та гнучкості. З огляду на це техніка візуалізації повинна відповідати робочим умовам, мати здатність працювати на довгих проміжках часу, не піддаючись впливу нагрівання, та не бути надлишковою у плані функціоналу.

У майбутньому алгоритми нейронних мереж та ресурси штучного інтелекту зроблять свій внесок у сферу, покращуючи та оптимізуючи методи автоматизації, тому компанії-виробники мають невідворотно слідкувати за тенденціями їх розвитку.

Покращення та винаходження методів інспектування потребує фінансування, що зазвичай ускладнюється питаннями бюджету, але без сумніву є правильним шляхом в довгостроковій перспективі.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Office of the Chief Engineer National Aeronautics and Space Administration. Procedures for precap visual inspection. NASA Reference Publication. USA, Washington. NASA Reference Publication, 1984
(зображення 1.1 – 1.16, 2.3)
2. JORDI VITRIA, XAVIER BINEFA, AND JUAN Jo& VILLANUEVA. Morphological Algorithms for Visual Analysis of Integrated Circuits JOURNAL OF VISUAL COMMUNICATION AND IMAGE REPRESENTATION Vol. 3, No. 2, June, pp. 194-202, 1992
(зображення 3.1)
3. EUGENE S. MEIERAN, PAUL A. FLINN, JOHN R. CARRUTHERS. Analysis Technology for VLSI Fabrication. PROCEEDINGS OF THE IEEE, VOL. 75, NO. 7, JULY 1987
4. *Нестеренко Д.В. ФОРМИРОВАНИЕ И ОБРАБОТКА ИЗОБРАЖЕНИЙ ЭЛЕКТРОННОЙМИКРОСКОПИИ*
Учреждение Российской академии наук Институт систем обработки изображений РАН. Компьютерная оптика, том 35, №2, 2011
(зображення 2.2)
5. *Jeremy Burgess, Michael Marten and Rosemary Taylor. Macrocosm*
Cambridge University Press reading, 1987

Режим доступу до ресурсу : <https://www.asu.edu/courses/phs208/patternsbb/PiN/rdg/elmicr/elmicr-sem.shtml#Top>
(зображення 2.1)
6. N. Keith Tovey and Jianmin Wang. AN AUTOMATIC IMAGE ACQUISITION AND ANALYSIS SYSTEM FOR A SCANNING ELECTRON MICROSCOPE. Scanning Microscopy Vol. 11, 1997
7. DAVID FLAKE, GEORGE FISHER, PAUL WATSON. AUTOMATION OF PRE-CAP VISUAL INSPECTION FOR INTEGRATED CIRCUITS. COLUMBIA RESEARCH CORPORATION. US ARMY ARMAMENT

RESEARCH AND DEVELOPMENT COMMAND. PRODUCT ASSURANCE
DIRECTORATE, 1982

8. Pierre Soille and Luc Vincent. Determining watersheds in digital pictures via flooding simulations. SPIE Vol 1360 Visual Communications and Image Processing '90
9. George Harman. Wire Bonding in Microelectronics. The McGraw-Hill Companies, 2010 - ISBN: 978-0-07-164265-1
10. Andrew Grochowski, Debashis Bhattacharya, *Senior Member*, T. R. Viswanathan, and Ken Laker. Integrated Circuit Testing for Quality Assurance in Manufacturing: History, Current Status, and Future Trends. IEEE TRANSACTIONS ON CIRCUITS AND SYSTEMS—II: ANALOG AND DIGITAL SIGNAL PROCESSING, VOL. 44, NO. 8, AUGUST 1997
11. P. B. GHATE. METALLIZATION FOR VERY-LARGE-SCALE INTEGRATED CIRCUITS. *Semiconductor Research and Development Laboratories, Texas Instruments Inc., Dallas, TX 75265, USA*
12. L. F. PAU. Integrated Testing and Algorithms for Visual Inspection of Integrated Circuits. IEEE TRANSACTIONS ON PATTERN ANALYSIS AND MACHINE INTELLIGENCE, VOL. PAMI-5, NO. 6, NOVEMBER 1983
13. Test method standart for Microcircuits. MIL-STD-883E. Departament of defence, USA. 1991
14. Lawrence C. Wagner. FAILURE ANALYSIS OF INTEGRATED CIRCUITS. *TOOLS AND TECHNIQUES*.
15. Опис технологічних характеристик сучасної мікроскопії на сайті компанії-виробника Olympus.
Режим доступу до ресурсу : <https://www.olympus-lifescience.com>
(Рис. 2.5-2.7, 2.9-2.14, 4.2)
16. Сайт-постачальник техніки для вирішення задач різноманітних індустрій з описом методів, що використовуються
<https://www.jasco-global.com> (рис. 2.8)

17. ROLAND T. CHIN, CHARLES A. HARLOW. Automated Visual Inspection: A Survey. IEEE TRANSACTIONS ON PATTERN ANALYSIS AND MACHINE INTELLIGENCE, VOL. PAMI-4, NO. 6, NOVEMBER 1982
(рис. 3.2)
18. ESCC Basic Specification No. 2049000. INTERNAL VISUAL INSPECTION OF SILICON-BASED NON-MICROWAVE INTEGRATED CIRCUITS. European Space Agency, 2014
(рис. 4.3)
19. LIEW KOK WAH. AN EFFICIENT APPROACH FOR VISION INSPECTION OF IC CHIPS. Report. Faculty of Computer Systems & Software Engineering. UNIVERSITY MALAYSIA PAHANG. 2012
20. Y. Y. HSIEH, K. S. Fu. An Automatic Visual Inspection System for Integrated Circuit Chips. COMPUTER GRAPHICS AM, IMAGE PROCESSING 14, 293-343. 1980
21. YangSub Park, KilBum Kang, and SeongSoo Kim. Visual Inspection Method Based on Periodic Feature for Wheel Mark Defect on Wafer Backside. Computer Analysis of Images and Patterns. 17th International Conference, CAIP 2017
22. Stream IMAGING SOFTWARE. Навч. посібник. Olympus Soft Imaging Solutions GmbH.
(рис. 4.4)
23. Опис технологічних характеристик сучасної мікроскопії на сайті компанії-виробника Nikon.

Режим доступу до ресурсу : <https://www.microscopyu.com> (рис. 2.15)
24. Опис технологічних характеристик сучасної мікроскопії на сайті компанії Edmund

Режим доступу до ресурсу : <https://www.edmundoptics.com> (рис. 4.1)